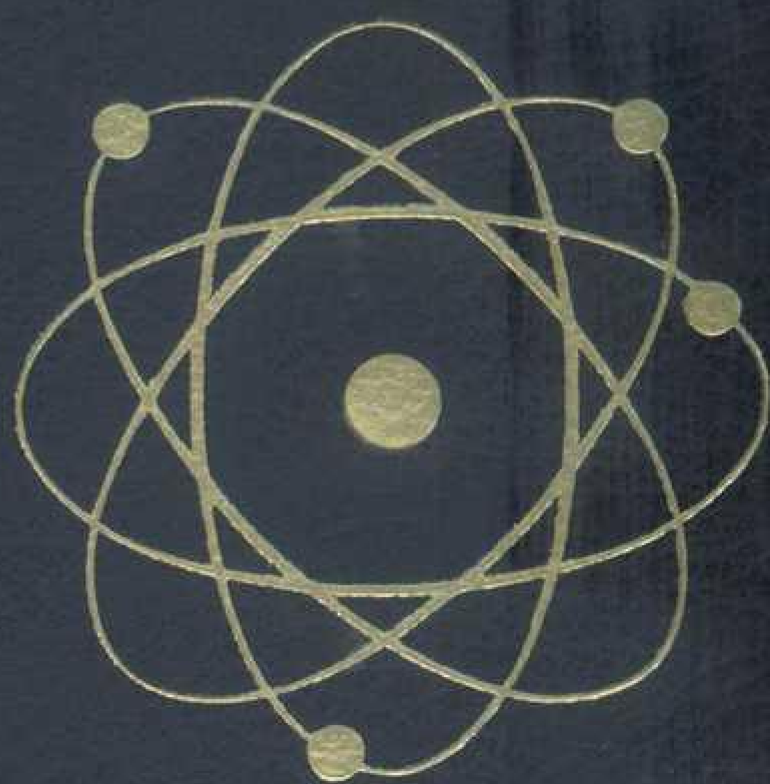
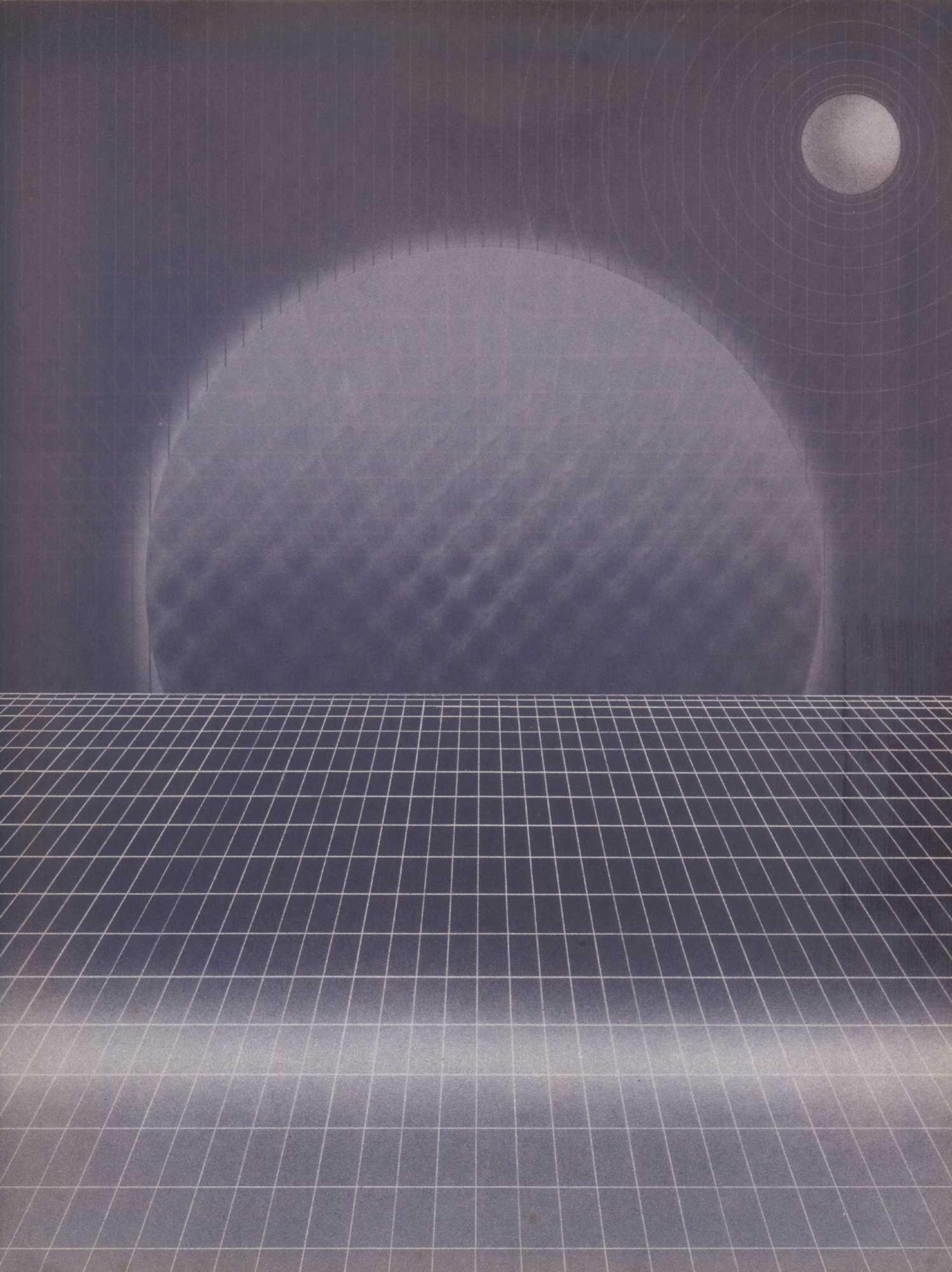
Ciencia y Técnica

11

PERCEPCION
RADIO

SALVAT

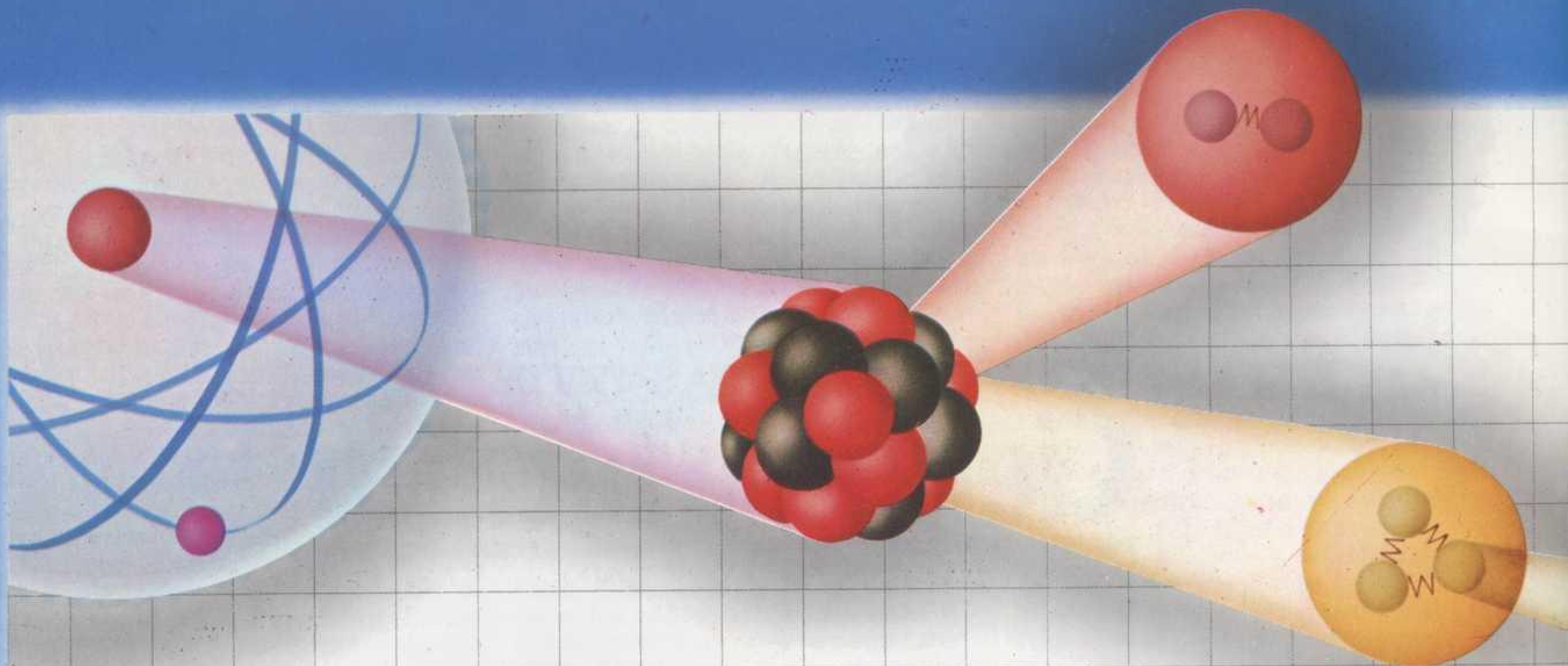


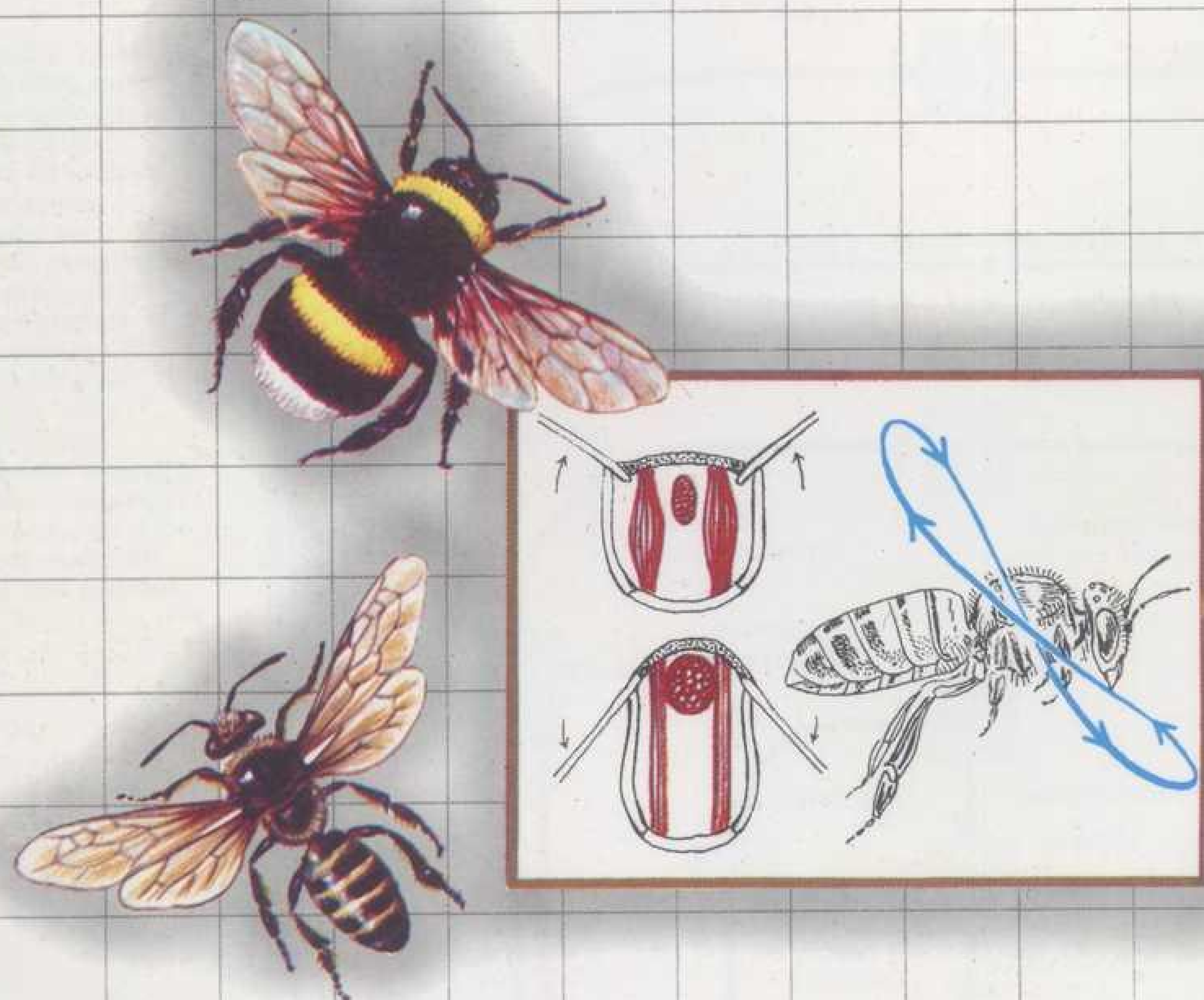




ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica





Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 47 - 08029 Barcelona, España

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1987
Depósito Legal: NA. 125-1984
ISBN 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN 84-345-4501-2 (Volumen 11)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann — Donald Antrim — Timothy Bay — Trudy Bell — Shelley Berc — David Black — Diane Blanchard — Bonnie Borenstein — Judith Brister — Jean Brody — Serena Cha — Robert Crease — Peter Cunningham — Dr. Rhodes Fairbridge — Marguerite Feitlwitz — Corinna Gardner — Barbara George — Ellen Goldensohn — Jean Grasso — Fitz Patrick — Peter Gyallay-Pap — Steve Hall — James Harris — Doug Henwood — David Herndon — Paul Hoeffel — Andrea Kantor — Jonathan Katz — Jim Keegan — Philippa Keil — Percy Knauth — Bary Koffler — Barbara Kopit — Paulette Licitra — Becky London — Deborah Lumpee — Charles Mann — Robert MacVicar — Dale McAdoo — Fred Nadis — Joy Nager — Peter Oberlink — Robert Salter — Sandra Sharp — George Shea — Howard Smith — Zev Trachtenberg — Vieri Tucci — Edit Emili Villareal — Veronica Visser — Graham Yost — Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
M.ª Rosa Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
M.ª Jesús Sáinz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Magna Santos, *Instituto «Daza de Valdés» del C.S.I.C.*
Pedro T. Sanz, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
José L. Téllez, *Musicólogo*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Consejo de Redacción

Percepción

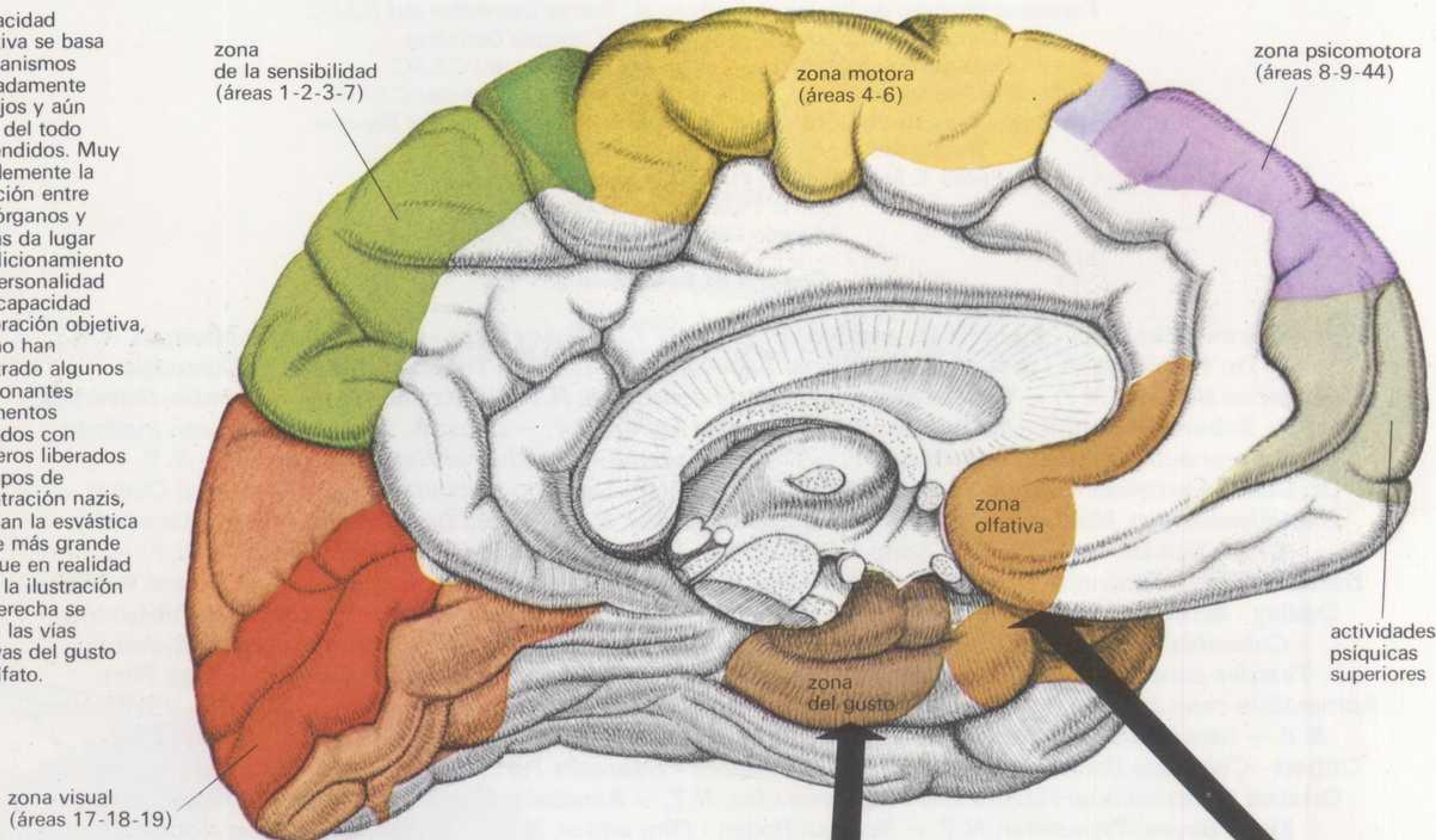
Imaginemos que nos encontramos en la esquina de una habitación y que vemos cómo se acerca hacia nosotros desde el ángulo opuesto una persona. La reconocemos y vemos que se trata de un amigo al que hacía años que no veíamos. Parece contento de volver a vernos y somos capaces de diferenciar su saludo de entre todos los otros sonidos procedentes de la sala.

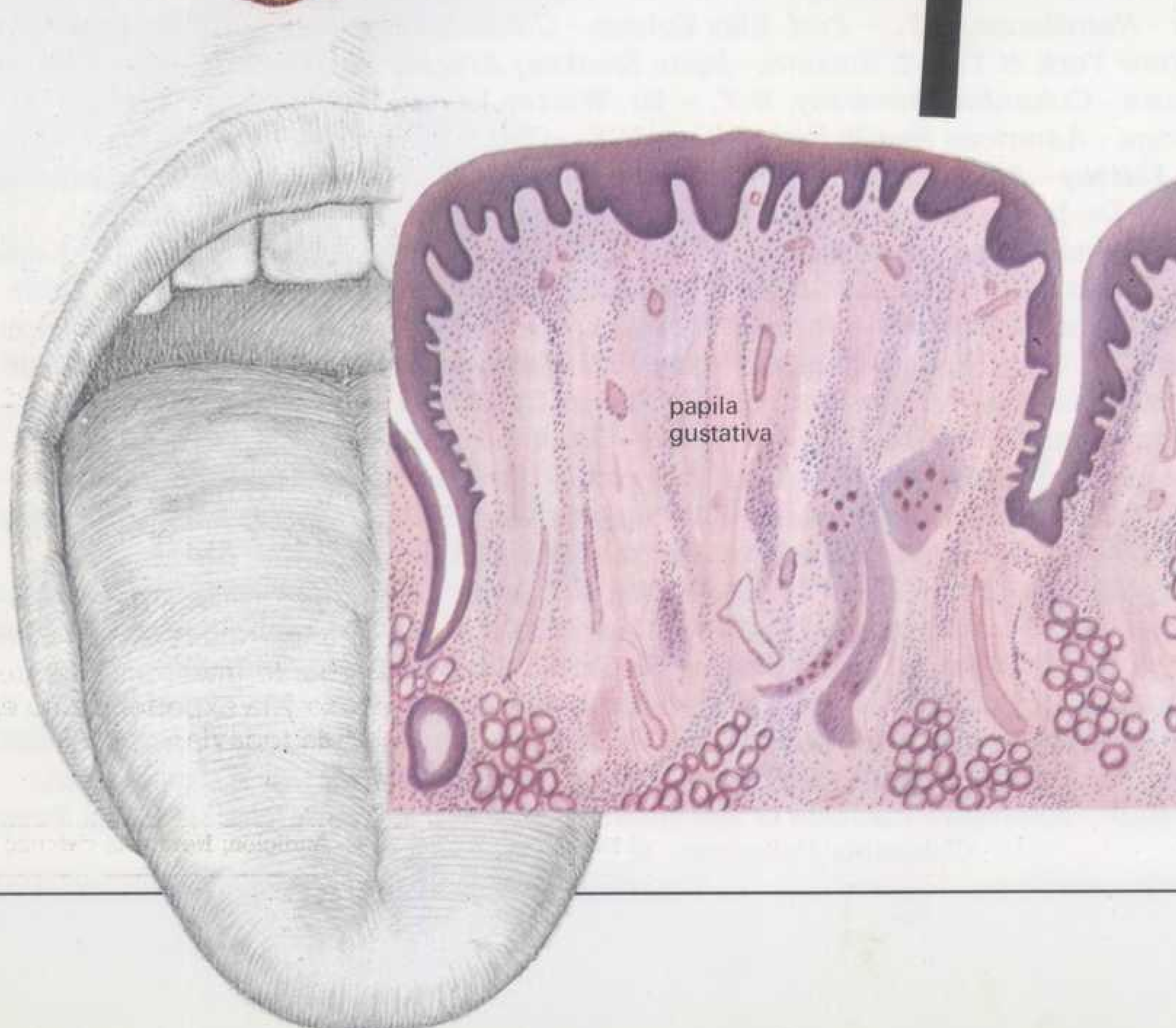
¿En qué modo somos conscientes de todo esto? Lo vemos y oímos, pero en nuestro sistema interno se ponen en marcha una serie de mecanismos aparte de las puras sensaciones visuales y auditivas. A medida que se acerca, la imagen que nuestro viejo amigo proyecta sobre nuestra retina se va haciendo cada vez más grande. Podríamos interpretar este fenómeno como si su figura fuese aumentando de tamaño, en vez de percibir el efecto del acercamiento, como en realidad sucede. Reconocemos al amigo incluso cuando su imagen es relativamente pequeña, antes aún de que todos los detalles de su rostro aparezcan con claridad. Somos capaces, incluso, de intuir el estado emocional que refleja su expresión.

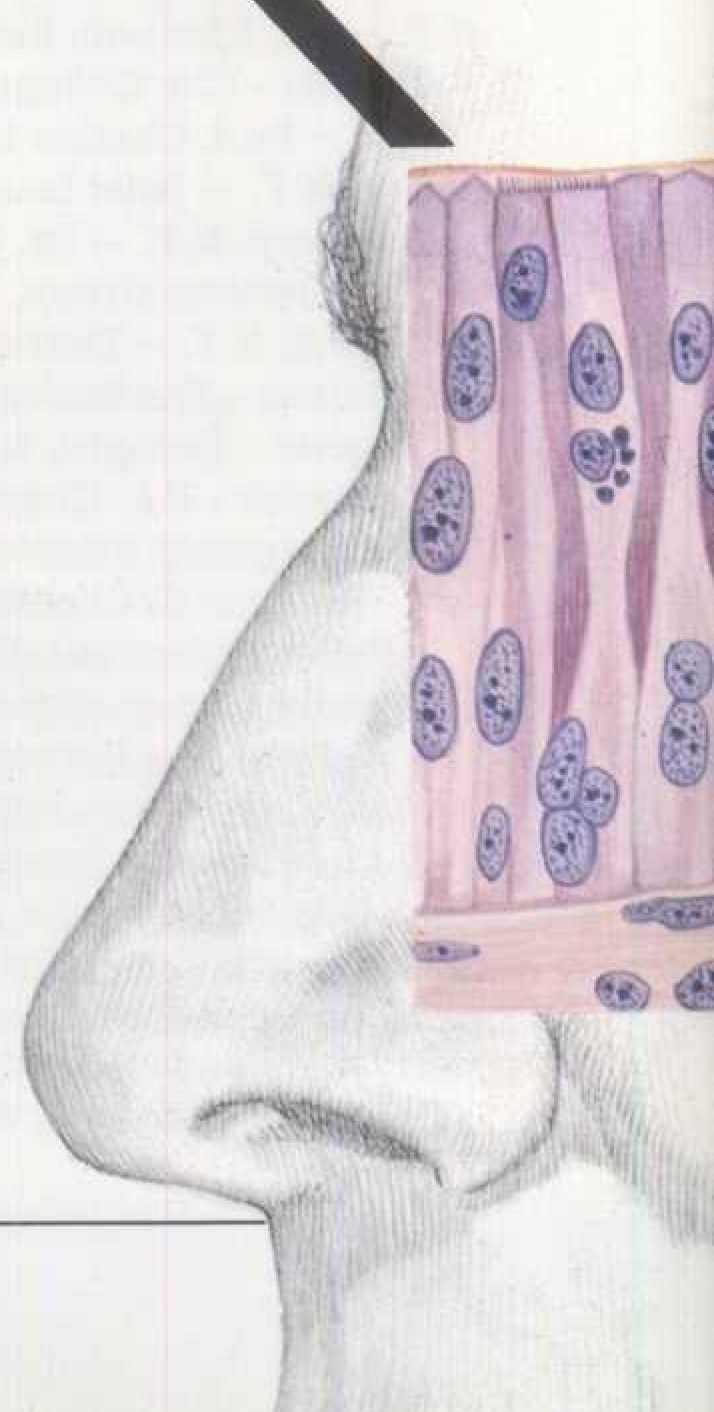
Esta simple descripción de un reencuentro entre amigos sirve para ilustrar las distintas cuestiones primarias en el estudio de la percepción: cómo las sensaciones físicas de nuestros sentidos se transforman en "conciencia", y cómo la excitación de nuestro cerebro, de nuestros nervios, es procesada haciéndonos posible escuchar y reconocer los objetos como cosas del mundo exterior. La experiencia perceptiva es consecuencia de una compleja organización de elementos, entre los que se encuentran los impulsos nerviosos, la memoria y el estado expectativo de un individuo.

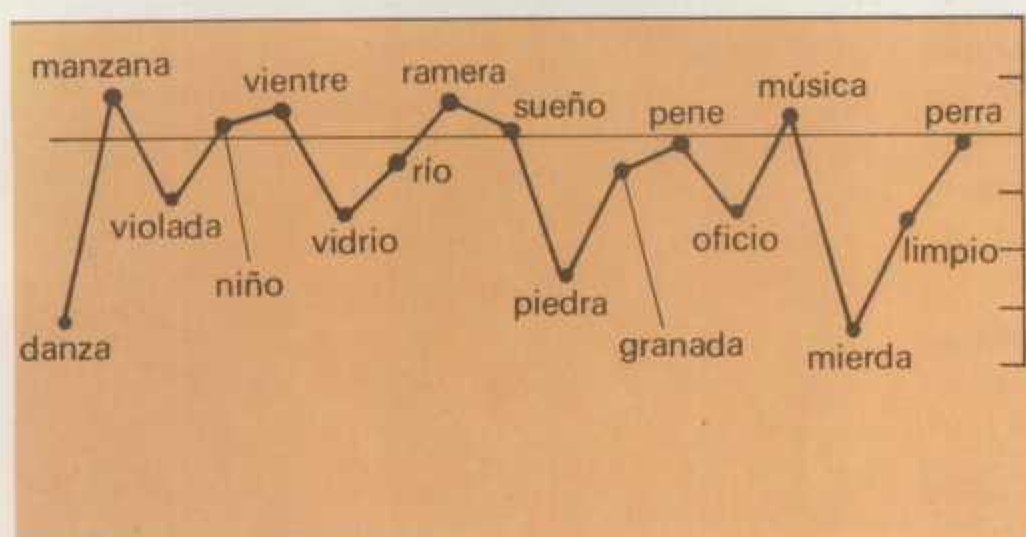
La visión tridimensional Uno de los aspectos más estudiados de la percepción es la visión tridimensional. De algún modo sucede que las imágenes bidimensionales

La capacidad perceptiva se basa en mecanismos extremadamente complejos y aún hoy no del todo comprendidos. Muy probablemente la interacción entre varios órganos y sistemas da lugar al condicionamiento de la personalidad y a su capacidad de valoración objetiva, tal como han demostrado algunos impresionantes experimentos efectuados con prisioneros liberados de campos de concentración nazis, que veían la esvástica siempre más grande de lo que en realidad era. En la ilustración de la derecha se indican las vías sensitivas del gusto y del olfato.





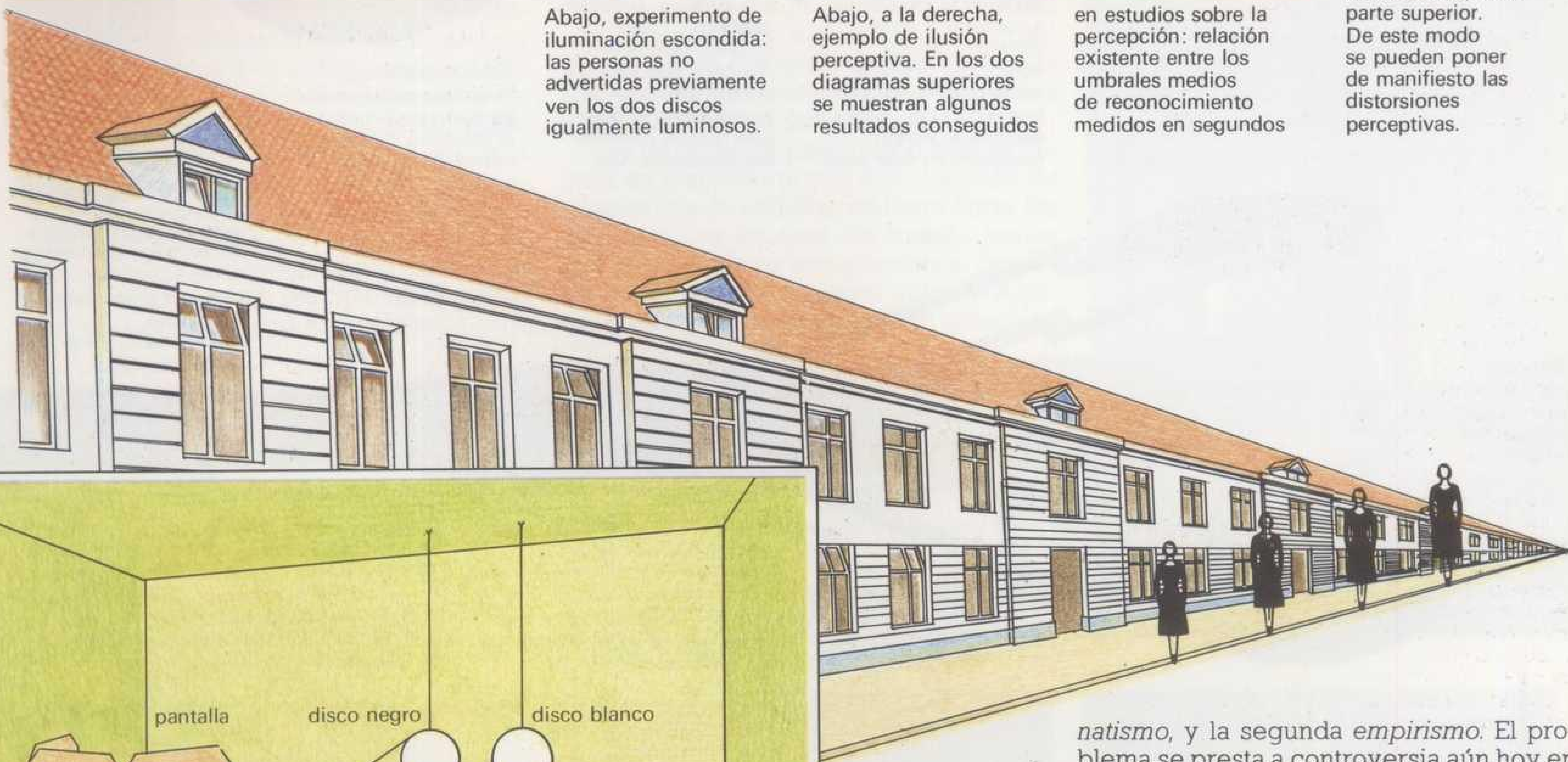






Abajo, experimento de iluminación escondida: las personas no advertidas previamente ven los dos discos igualmente luminosos.

Abajo, a la derecha, ejemplo de ilusión perceptiva. En los dos diagramas superiores se muestran algunos resultados conseguidos en estudios sobre la percepción: relación existente entre los umbrales medios de reconocimiento medidos en segundos (a la izquierda) y los registros del reflejo psicogalvánico en la fase de prerreconocimiento (a la derecha), para palabras-estímulo que tienen una intensa connotación emotiva o son del todo neutras. Las palabras caracterizadas por una intensa carga emotiva están indicadas, en las ilustraciones, en la parte superior. De este modo se pueden poner de manifiesto las distorsiones perceptivas.



que se forman sobre nuestra retina son traducidas en un mundo tridimensional de formas, volúmenes y distancias. Está muy difundida la convicción de que logramos ver en tres dimensiones gracias al hecho de que tenemos dos ojos, cada uno de los cuales percibe imágenes distintas desde ángulos ligeramente diferentes. Pero esto explica sólo una parte —según algunos, una pequeña parte— del fenómeno.

En el ejemplo anteriormente expuesto hemos visto a nuestro amigo sobre un fondo: paredes, muebles y otras personas presentes en la sala. Si movemos un poco la cabeza, las posiciones relativas de los objetos que veíamos cambian: los objetos más cercanos parece que se mueven más rápido que los que se encuentran más alejados. Y cuando vemos que una persona va progresivamente incrementando sus proporciones con respecto al fondo, sabemos que es porque se está acercando y no porque realmente sus dimensiones estén aumentando de tamaño. Por otro lado, vemos los detalles de los objetos con una nitidez que es proporcional a su distancia con respecto a nuestro punto de observación: si, por ejemplo, estamos sentados en una mesa de madera y miramos su superficie, observaremos cada vez menos detalles de sus vetas a medida que nuestra mirada se dirija hacia zonas más alejadas. Todos estos detalles son "señales" que contribuyen a nuestra percepción de la profundidad sin necesidad de concentrarnos en el objeto observado.

Innatismo y empirismo Los filósofos y los psicólogos han discutido durante mucho tiempo acerca de si la percepción es algo de lo que estamos dotados desde el nacimiento o si, por el contrario, es necesario un aprendizaje. La primera de estas formas de pensamiento se denomina *innatismo*, y la segunda *empirismo*. El problema se presta a controversia aún hoy en día, si bien son ya pocos los estudiosos que toman partido rígidamente por uno solo de estos dos extremos. La Psicología experimental ha demolido en cierto modo la concepción empírica radical. Por ejemplo, los niños muestran señales de reconocer a su propia madre unos pocos días después del nacimiento. Por otro lado, es también innegable que para desarrollarse en toda su plenitud, la percepción necesita experiencia. Los adultos ciegos de nacimiento que mediante alguna intervención quirúrgica logran adquirir la visión ven las formas inmediatamente, pero necesitan meses de ejercicio para aprender la diferencia entre triángulos y cuadrados sin necesidad de contar (conscientemente) el número de lados.

Según distintos experimentos, la mayor parte de los animales criados en la oscuridad y posteriormente trasladados a la luz no logran un desarrollo normal de la función visual. Parece, por tanto, lógico afirmar que si bien es cierto que nacemos con estructuras nerviosas que tienen influencia sobre nuestro modo de experimentar el mundo, también es cierto que la experiencia aviva nuestros sentidos. Sin embargo, la interacción entre el sistema nervioso y la experiencia no es bien comprendida todavía.

Véase **Audición; Nervioso, sistema; Ojo**

Perforación petrolífera

En 1859, un ciudadano norteamericano llamado Edwin L. Drake, tras fracasar en varios trabajos durante su vida intentó cambiar su suerte de una vez por todas. Sabiendo que el petróleo podría proporcionarle la fortuna que anhelaba, decidió buscar un yacimiento subterráneo empleando para ello un método innovador: la perforación del subsuelo. Hasta ese momento, todos los productos petrolíferos se obtenían de las filtraciones naturales ocasionales, que hacían aflorar a la superficie el petróleo bruto y el asfalto, ya que nunca antes se habían realizado perforaciones para extraer el preciado líquido. El 27 de agosto de 1859, en Titusville (EE UU), Drake descubría petróleo a 21 m bajo la superficie e inauguraba una nueva época.

Abajo podemos ver un esquema del método de prospección sísmica por reflexión y refracción con el que se determina el punto más adecuado donde perforar para encontrar el petróleo. Aunque las ondas reflejadas pongan en evidencia una estructura anticlinal prometedora, será en última instancia la perforación la que suministre la prueba definitiva. Puede ocurrir que el primer sondeo se realice en una zona poco explorada, siendo necesario en este caso estudiar toda la serie de rocas que se cortan desde la superficie hasta la zona potencialmente productiva en profundidad. Empleando tubos especiales de perforación es posible recuperar sistemáticamente durante el sondeo cilindros de roca como los que se muestran a la derecha, llamados "testigos". Debajo, un largo dispositivo cilíndrico con varios instrumentos que se introduce en el pozo para realizar diversas testificaciones. Los dos cabezales que llevan los pantógrafos se abren para medir el diámetro del pozo, mientras que unos instrumentos eléctricos miden la conductividad de las rocas y otros las propiedades mecánicas. A la derecha, torre de perforación.

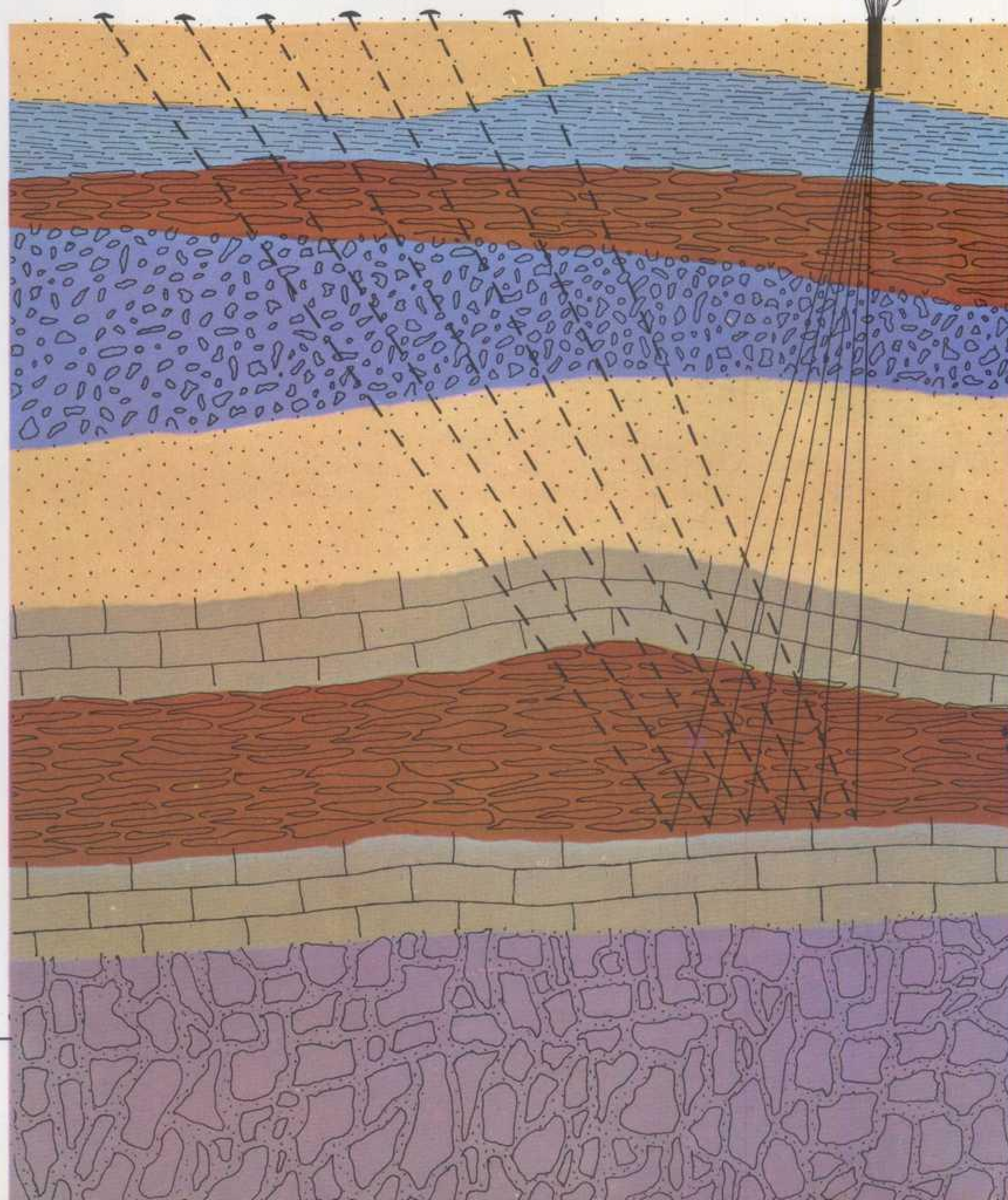




Pronto demostró que muchos productos orgánicos de gran importancia industrial, como el queroseno, que tradicionalmente se obtenía a partir del carbón, así como los lubricantes de mejor calidad, se podían obtener refinando el petróleo crudo subterráneo. Desde 1901 se han venido perforando con éxito innumerables pozos petrolíferos en todas aquellas regiones geológicamente favorables, tanto en tierra firme como bajo el océano, en las plataformas continentales. Esa fecha marca pues el inicio de una etapa industrial sobre la que se fundamenta en gran parte la sociedad industrializada de nuestros días.

Métodos usados para las perforaciones petrolíferas Hasta finales del siglo XIX los pozos de agua y los petrolíferos se perforaban de forma similar, mediante un sencillo método actualmente todavía en uso: el de percusión. Una herramienta terminada en un pesado trépano y accionada desde la superficie por un motor se eleva y se deja caer rítmicamente mediante el empleo de un balancín. El peso de la herramienta la hace penetrar cada vez más profundamente en el terreno. Sin embargo, hoy en día casi todos los pozos petrolíferos se perforan empleando el método de rotación. Una broca fijada a unas varillas de acero huecas se hace penetrar en el terreno. Las varillas están firmemente sujetas a un disco de rotación en la superficie, que gira por la acción de un motor. La rotación de este disco induce la del

PERFIL GEOSISMICO
Puntos en los que se recibe la onda sísmica reflejada y a partir de los cuales se localiza el punto más conveniente para la perforación.



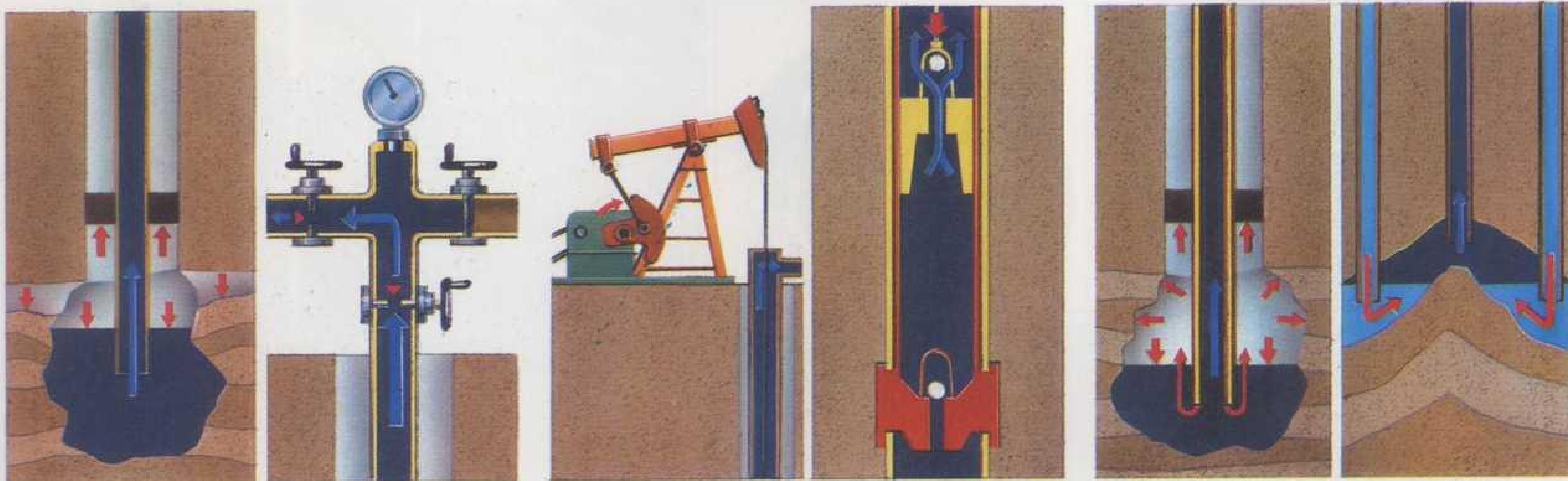
varillaje y la de la broca en profundidad. Las brocas que se emplean corrientemente son cabezales constituidos por varias piezas cónicas de acero acopladas, que pueden girar independientemente y de las que sobresalen puntas de acero especialmente enriquecido. Un lodo especial, inyectado a presión en el interior del varillaje, desciende hasta el fondo de la perforación y retorna a la superficie por el espacio anular entre el varillaje y la pared del pozo, derramándose seguidamente en la bolsa de lodos, construida junto a la instalación de perforación. El objeto de esta corriente de lodos es múltiple: por un lado, arrastrar a la superficie los fragmentos de roca resultantes de la perforación, y por otro, refrigerar y lubricar el utillaje y la broca. Finalmente, el lodo contribuye a sellar las paredes del pozo en el caso de rocas blandas, tales como arenas y gravas, impidiendo así su hundimiento con el consiguiente riesgo de pérdida de la herramienta, por lo general muy valiosa.

superior de la torre de perforación. Los distintos tramos de tubo se van desenroscando según van alcanzando la superficie, hasta que la broca sale del pozo. Algunos pozos petrolíferos tienen más de 9.000 m de profundidad.

Perforaciones marinas Recientemente las prospecciones lejos de la costa, en mar abierto, han adquirido una notable importancia. Se han perforado, y se continuarán perforando, grandes depósitos submarinos existentes a lo largo de las costas norteamericanas y, especialmente, a lo largo de las de Europa occidental, ya que sus plataformas continentales contienen enormes reservas petrolíferas.

Las técnicas de perforación que se utilizan en mar abierto son más o menos las mismas que se emplean en tierra firme. Sin embargo, los equipos de trabajo tienen que operar desde una plataforma que se eleva por encima del nivel del mar. Algunas plataformas muy complejas, situadas a más de 160 km de tierra firme, no sólo tienen que albergar a bordo las torres de perforación, las conducciones y los motores para el disco rotatorio, sino que además tienen que servir como lugar de residencia para los equipos de trabajo: han de disponer, por lo tanto, de zonas de descanso, cocinas, salas de estar y de recreo, además de las instalaciones médicas adecuadas para atender a posibles accidentados o enfermos.





El petróleo que se extrae de los pozos, al principio asciende a la superficie espontáneamente, impulsado por la presión que ejerce sobre él el gas natural presente en el yacimiento. El dispositivo de perforación tiene que disponer de los elementos adecuados para contener estas presiones y permitir el ascenso del líquido sin que se produzcan pérdidas. A la larga, la presión del gas disminuye y el petróleo se ha de elevar empleando bombas (en el centro). Cuando las dimensiones de la bolsa productiva lo justifican, se bombea gas o agua a presión con objeto de elevar la presión del petróleo y hacerlo ascender hasta que se agota totalmente (a la derecha).

En una segunda etapa y para impedir precisamente el desmoronamiento de las paredes en rocas blandas, o la entrada de agua, se hace necesario el entubado permanente del pozo con tubería de acero.

Asimismo, cuando el sondeo alcanza un yacimiento de petróleo, se procede al entubado del mismo, inyectándose cemento entre la tubería y la pared del pozo. Las sondas utilizan muchos tipos de brocas según sean las condiciones del pozo. Unas están diseñadas para rocas blandas o arcillas, mientras que otras emplean fragmentos de diamante engastados en ellas que permiten penetrar incluso a través de las rocas más duras. Cuando se hace necesario sustituir una broca por otra se ha de extraer todo el varillaje hasta la parte

Los ingenieros que proyectan dichas plataformas de perforación tienen que tener en cuenta numerosos problemas, principalmente los que pueden acarrear las violentas tempestades. Algunas plataformas han demostrado ser muy vulnerables, y ya son varias las que han naufragado, ocasionando grandes pérdidas humanas y materiales. Hoy en día las plataformas se alzan incluso en aguas profundas. Así, la plataforma Black 280 perfora a una profundidad de unos 300 m en aguas del Golfo de México. En el Océano Artico existen otras que se apoyan sobre islas artificiales de grava que las protegen de posibles colisiones contra hielos flotantes.

Algunas plataformas de perforación constituyen las estructuras más grandes que jamás se hayan desplazado. La plataforma de perforación Statfjord, que se encuentra a 160 km de distancia de las costas noruegas y sobre 144 m de profundidad, pesa 900.000 toneladas.

Véase **Petróleo; Taladro y perforadora**

Perfume

Entre nuestros cinco sentidos —vista, oído, tacto, gusto y olfato— este último, es decir, la capacidad de distinguir y apreciar un olor particular, es sin duda el más misterioso y subestimado. Los diversos experimentos llevados a cabo en este campo han permitido demostrar que ciertas personas tienen este sentido más desarrollado que otras, lo que les permite recordar e identificar olores percibidos mucho tiempo atrás.

Los olores agradables de fragancias naturales, como son los de las flores, los de las hierbas y los del aire del campo, constituyen un verdadero deleite para nuestros órganos olfativos, lo que da lugar a la fabricación y uso de perfumes. Los perfumes suelen ser mezclas de sustancias aromáticas, generalmente alcoholes, cuyo alto grado de volatilización las convierte en las más idóneas para el arreglo personal o para la ambientación de espacios. Son sustancias obtenidas a partir de complejas combinaciones, convenientemente dosificadas, de perfumes naturales, sustancias químicas artificiales, fijadores y sustancias aromáticas de origen animal, como el ámbar gris (concreción intestinal del cachalote), el castóreo (materia untuosa que se extrae del castor) o el almizcle (sustancia odorífera que se saca del ratón almizclero).

El perfume en la historia Los antiguos egipcios, durante las ceremonias, que se desarrollaban generalmente al atardecer, quemaban como ofrenda un incienso llamado *kyphi* que preparaban con alheña, mirra, canela y enebro común. Los braseros en los que se quemaban los perfumes (la palabra perfume deriva del latín *pro*, adelante y *fumum*, humo) contenían aceites naturales que se extraían exprimiendo determinadas sustancias y luego vaporizándolas (destilación); fáciles de arder, estos aceites perfumaban templos, casas y palacios reales.

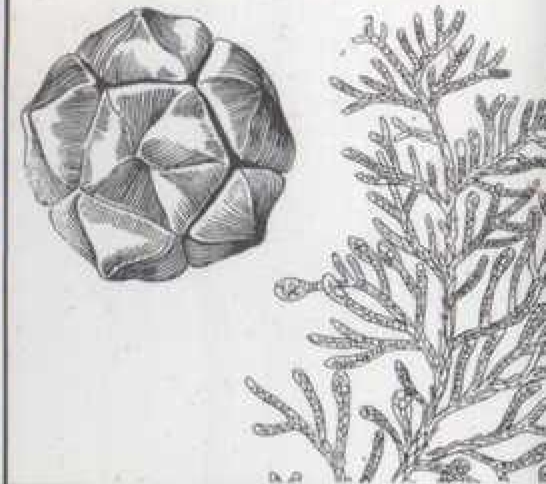
En Francia, durante el reinado de Luis XIV, que pasó a la historia como el "rey perfumado", existían servidores cuya única tarea consistía en atender las exigencias de la corte en cuestión de perfumes. En los jardines se disponía de pabellones donde se cultivaba todo tipo de flores perfumadas; éstas, una vez secas, se colocaban en vasos ornamentales que luego eran dispuestos en diversos lugares del jardín para hacer que los perfumes se difundieran; además, los invitados, así como los vestidos, los muebles, las paredes y hasta el menaje y la platería de mesa, eran perfumados generosamente con atomizadores. En el origen de esta "perfumomanía" existían razones prácticas: en efecto, a fines del siglo XVII era muy raro que una persona se lavase más de una vez cada dos semanas. Un baile era una ocasión para darse una ducha de perfume. Para ello se sumergían las alas de unas cuantas palomas en aceites perfumados y se dejaban luego volar sobre los invitados: resultaba una agradable lluvia de gotas perfumadas.

Producción Las materias primas básicas son las sustancias olorosas, tales como los aceites naturales obtenidos de flores, frutos (las esencias obtenidas a partir de cítricos como el limón, la naranja y la bergamota están muy difundidas), raíces, hierbas, resinas y bálsamos; las materias olorosas animales, las drogas vegetales y los perfumes sintéticos. El muguete y la gardenia son dos flores de las cuales no es posible obtener olores naturales y, por tanto, se utilizan sustancias químicas artificiales que reproducen estos perfumes dulces y delicados.

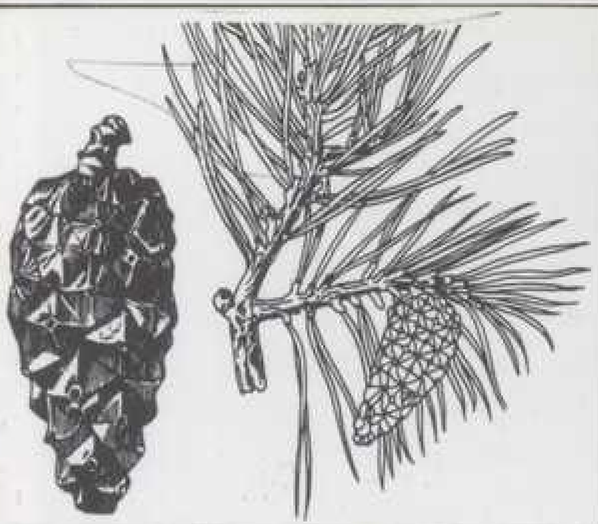
Para mantener la fragancia, evitando una rápida evaporación o, al menos, para mantener un nivel de evaporación igual para todos los elementos que componen el perfume, se utilizan los fijadores. Estos fijadores se obtienen a partir de sustancias animales y de resinas; son fijadores de origen animal: el ámbar gris, el almizcle y la algalia (sustancia untuosa extraída del gato de algalia).

Para diluir y combinar los distintos componentes de un perfume se utiliza alcohol etílico puro. El porcentaje de alcohol determina si se trata de una esencia pura, de una colonia o de un agua de tocador. A menudo, después de haber mezclado todos los componentes, se deja en-

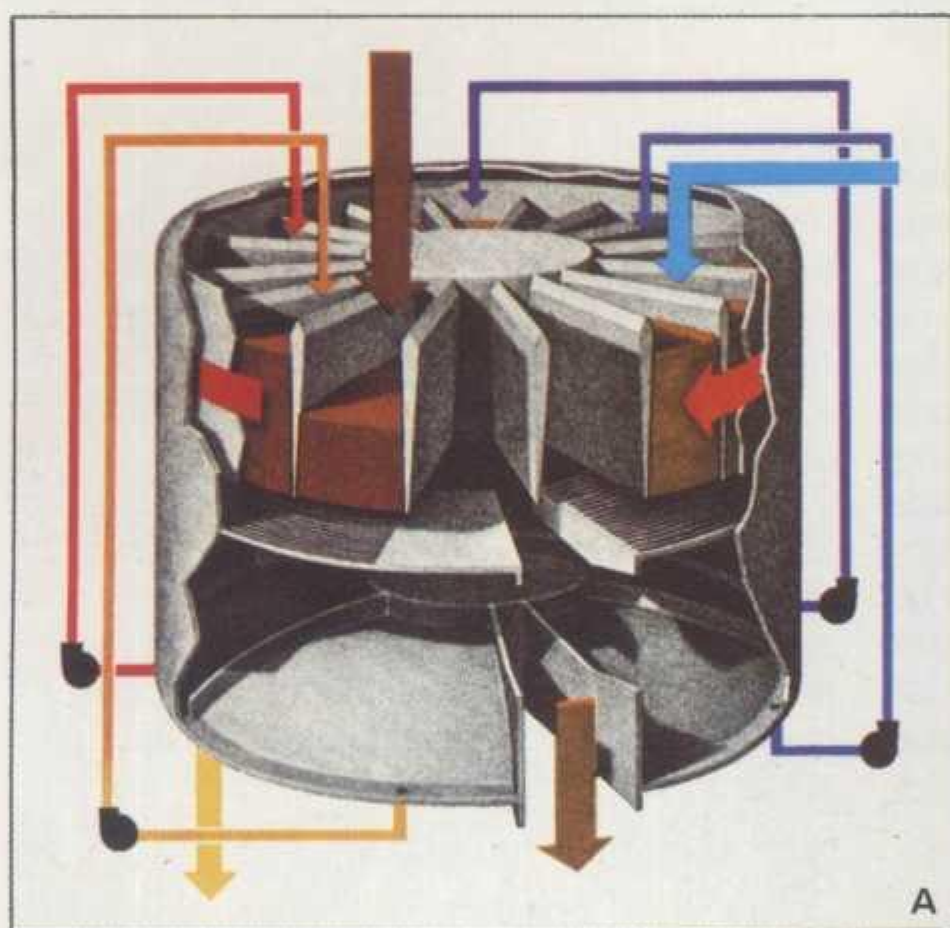


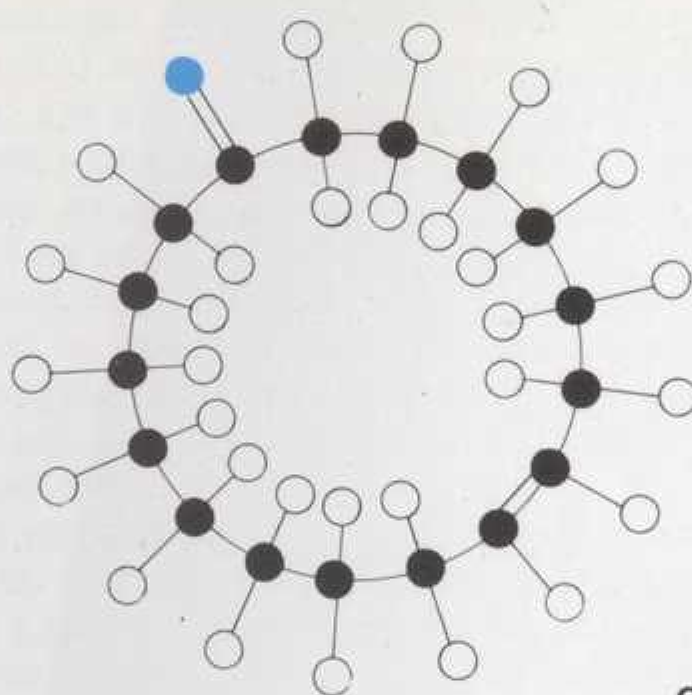



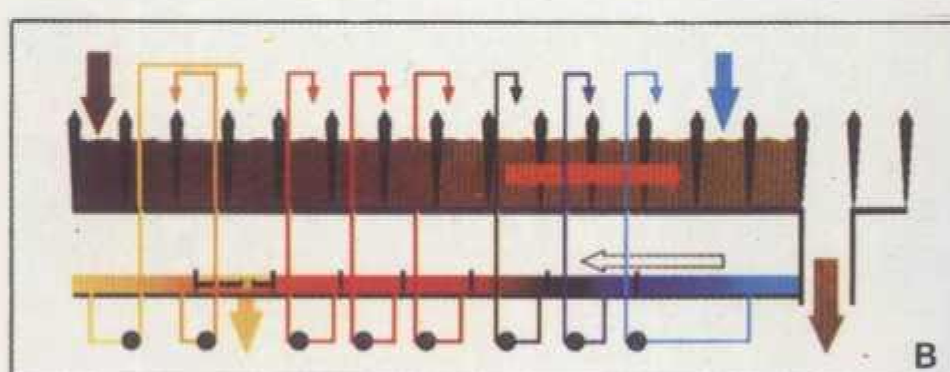
aceites esenciales	naranja amarga	bergamota	manzanilla	ciprés
origen	flores, hojas	flores, hojas, corteza	flores	frutos
aplicaciones	perfumes (agua de colonia)	perfumes (agua de colonia)	perfumes, jabones, cosméticos	perfumes
aceites esenciales	nuez moscada	pino	rosa	ruda
origen	semillas	brotes, corteza	pétalos de flores	hojas
aplicaciones	perfumes (agua de colonia)	perfumes y desinfectantes	perfumes	esencias para fricciones









La mayor parte de las materias primas empleadas en perfumería procede de sustancias oleosas fuertemente perfumadas, como son los aceites esenciales obtenidos de los distintos órganos (hojas, flores, frutos) de las plantas. Estos aceites se forman en el parénquima clorofílico por la degradación de sustancias complejas. Los perfumes son a menudo clasificados según la volatilidad de los aceites esenciales de los que derivan. Existen, en este sentido, olores que se evaporan rápidamente en el curso de algunas horas, olores medios que permanecen durante algunos días y olores fijos que se evaporan lentamente. Los fijadores tienen la propiedad de conferir al perfume una determinada duración atenuando su volatilidad. Un típico ejemplo de fijador es la algalia, solución cíclica no saturada (C). Para obtener los aceites esenciales de las plantas se recurre, según la naturaleza de los constituyentes olorosos, a procedimientos diversos. En la extracción con disolventes, las materias primas de más fácil filtración son introducidas en equipos rotativos constituidos por tambores móviles que giran en torno a un eje colocado en el interior del contenedor (A). Para las materias primas de más difícil filtración se han ideado equipos de inmersión en los cuales están previstos más puntos de reciclado del disolvente, con el fin de aumentar el rendimiento (B).

vejecer el perfume, a veces durante períodos superiores a un año. En algunas fórmulas magistrales se llegan a combinar hasta 800 sustancias distintas. Normalmente estas fórmulas son mantenidas en un estricto secreto y son transmitidas de generación en generación.

Los perfumes sintéticos pueden ser totalmente artificiales (elaborados a partir de compuestos extraídos del alquitrán de hulla) o seminaturales (obtenidos mediante la transformación química de ciertas esencias vegetales).

Véase **Alcoholes; Jabón; Olfato, sentido del**









aceites esenciales	lavanda	limón	lúpulo	menta
origen	flores	fruto (corteza y jugo)	inflorescencias femeninas	flores, hojas
aplicaciones	perfumes (agua de lavanda)	perfumes (aromáticos)	perfumes (colonias)	perfumes (aromáticos)

aceites esenciales	salvia	saúco	tomillo	verbena
origen	hojas	flores	flores, hojas	hojas
aplicaciones	perfumes (de base)	perfumes (aceite de saúco)	perfumes, cosméticos	perfumes

Pergamino

Un escritor anónimo del siglo XV ironizaba acerca del hecho de que las cebadas ovejas de Borgoña suministraban una carne excelente, pero un pergamino basto y sucio. Si con ello se satisfacía los estómagos de los ciudadanos de Borgoña, no se saciaba en igual medida las exigencias de los amanuenses de aquella región, que se afanaban en sus *scriptoria* (estudios de escritura) transcribiendo manuscritos de antiguos papiros sobre dicho pergamino. Aunque el papiro, obtenido de una planta palustre originaria de Egipto, era usado desde el año 3000 a. de C. como material soporte para escribir, su naturaleza vegetal no permitía una larga conservación en los climas húmedos de ciudades mediterráneas, como Roma y Atenas, donde los documentos filosóficos y políticos desempeñaban un importante papel en la vida civil. El papiro se obtenía del tronco de la planta cortado en tiras muy finas que, colocadas verticalmente y encoladas entre sí, formaban una capa a la que se adhería otra, constituida por fibras puestas horizontalmente; las hojas así obtenidas se alisaban y encolaban hasta formar tiras de varios metros que se enrollaban en torno a una varilla de madera. No obstante, con el tiempo, estas tiras tendían a decolorarse y a quebrarse. El pergamino, obtenido de la piel de varios animales, resultaba, en cambio, más sólido y fuerte, a lo que se añadía su mayor flexibilidad por la presencia de aceites naturales propios de las pieles, que al mismo tiempo evitaban la acción disgregadora de la humedad y el calor. Todo ello hizo que el pergamino sustituyera al papiro.

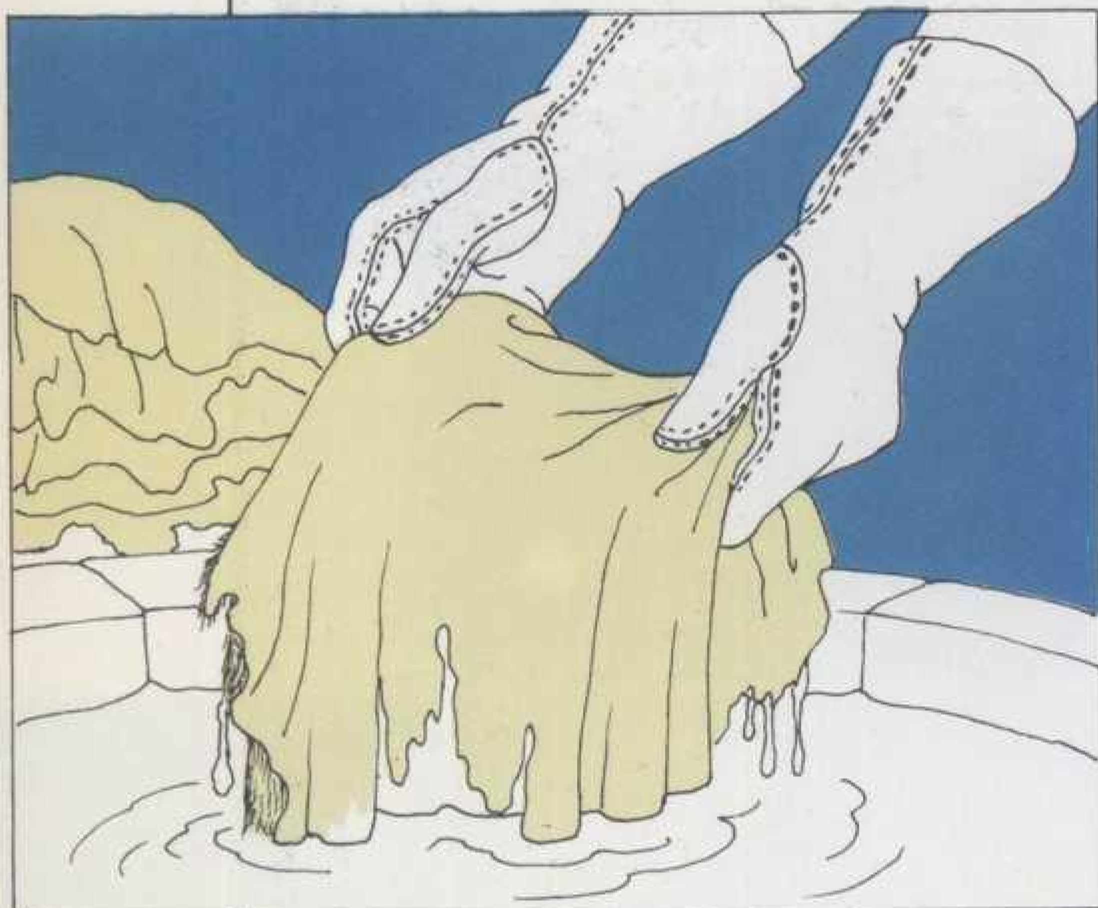
Libros de pergamino Los más antiguos documentos en pergamino no estaban encuadernados como los libros modernos, sino que, al igual que los manuscritos en papiro, estaban formados por hojas rectangulares cosidas juntas en una única y larga tira que, tras desenrollarse, podía medir hasta casi 50 metros.

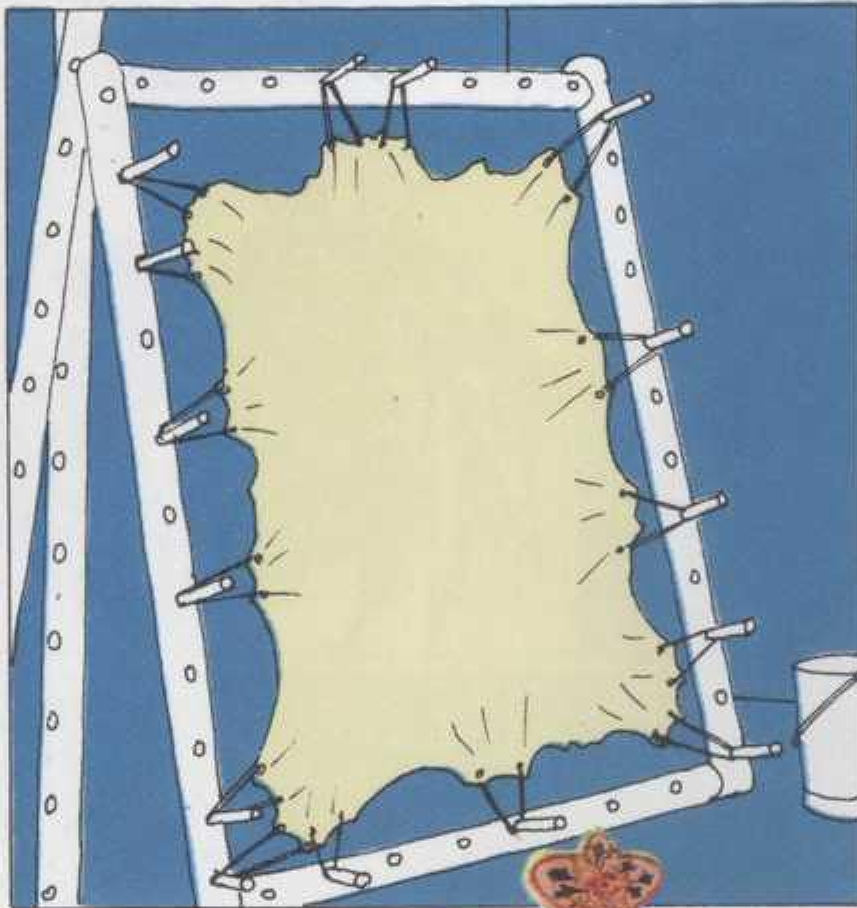
Leer semejantes textos resultaba bastante incómodo: la tira tendía a volverse a enrollar sobre sí misma y era prácticamente imposible consultar rápidamente un fragmento determinado del texto.

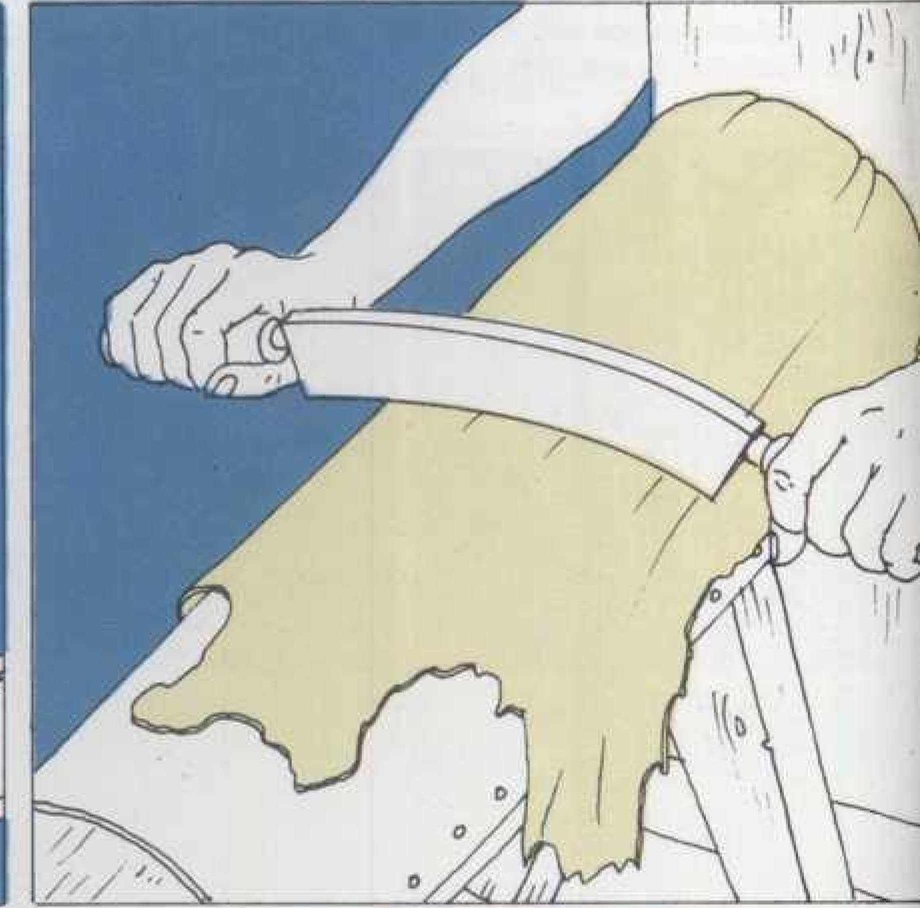
Hacia el año 100 de nuestra era, los rollos de pergamino comenzaron a ser sustituidos por los *codex*, o códices, sistema de plegar y encuadernar hojas en lo que podríamos llamar un libro. Las hojas de pergamino eran agujereadas y cosidas juntas a lo largo de un solo margen con posibilidad de escribir por las dos caras y de volver a utilizarlas una vez raspada la escritura primitiva. El pergamino se utilizó en los *codex* hasta poco antes de la invención de la imprenta y, aunque a partir del año 1100 se importaron de Oriente las técnicas de fabricación del papel, la duración de los libros antiguos que aún se conservan se debe al uso del pergamino.

Preparación del pergamino El procedimiento de preparación del pergamino por medio del curtido de las pieles no ha cambiado sustancialmente a lo largo de los siglos. Las pieles, preferentemente de cabra, oveja o ternero, son primero lavadas y sumergidas en baños de cal que ablandan el pelo y los haces de fibras (colágenos). El baño de cal se mantiene varios días, según la temperatura. Después se rasca el pelo del cuero con una cuchilla sin afilar, a lo cual sigue otro baño en una nueva mezcla de cal y seguidamente se lava la piel y se estira en un marco. La piel se seca a unos 20 °C, se lava de nuevo con agua corriente, se seca parcialmente y se vuelve a lavar. Entre estas últimas operaciones es rascada y afeitada para adelgazarla con una cuchilla especial de hoja semicircular. Luego la piel se ablanda frotándola con piedra pómez o con un abrasivo blando similar (polvo de yeso), y se deja secar, tensada sobre un bastidor. El pergamino era tanto más preciado cuanto más lisa y suave era la piel con que se preparaba. El pergamino de mejor calidad se hace con piel de ternero, por lo que recibe el nombre de *vitela* (del latín *vitellus*, ternero), y se reservaba para libros lujosos: se sumergía a veces en un baño de púrpura y los textos eran escritos en oro o plata. Los pergaminos más ordinarios, procedentes de pieles de asnos o lobos, eran usados, desde tiempos remotos, para la fabricación de tambores.

Historia del pergamino La palabra pergamino parece derivar de Pérgamo, ciudad de Asia Menor, donde su fabricación fue una actividad muy desarrollada entre el 197 y el 159 a. de C. como consecuencia de las medidas restrictivas a la exportación de papiro egipcio tomadas por









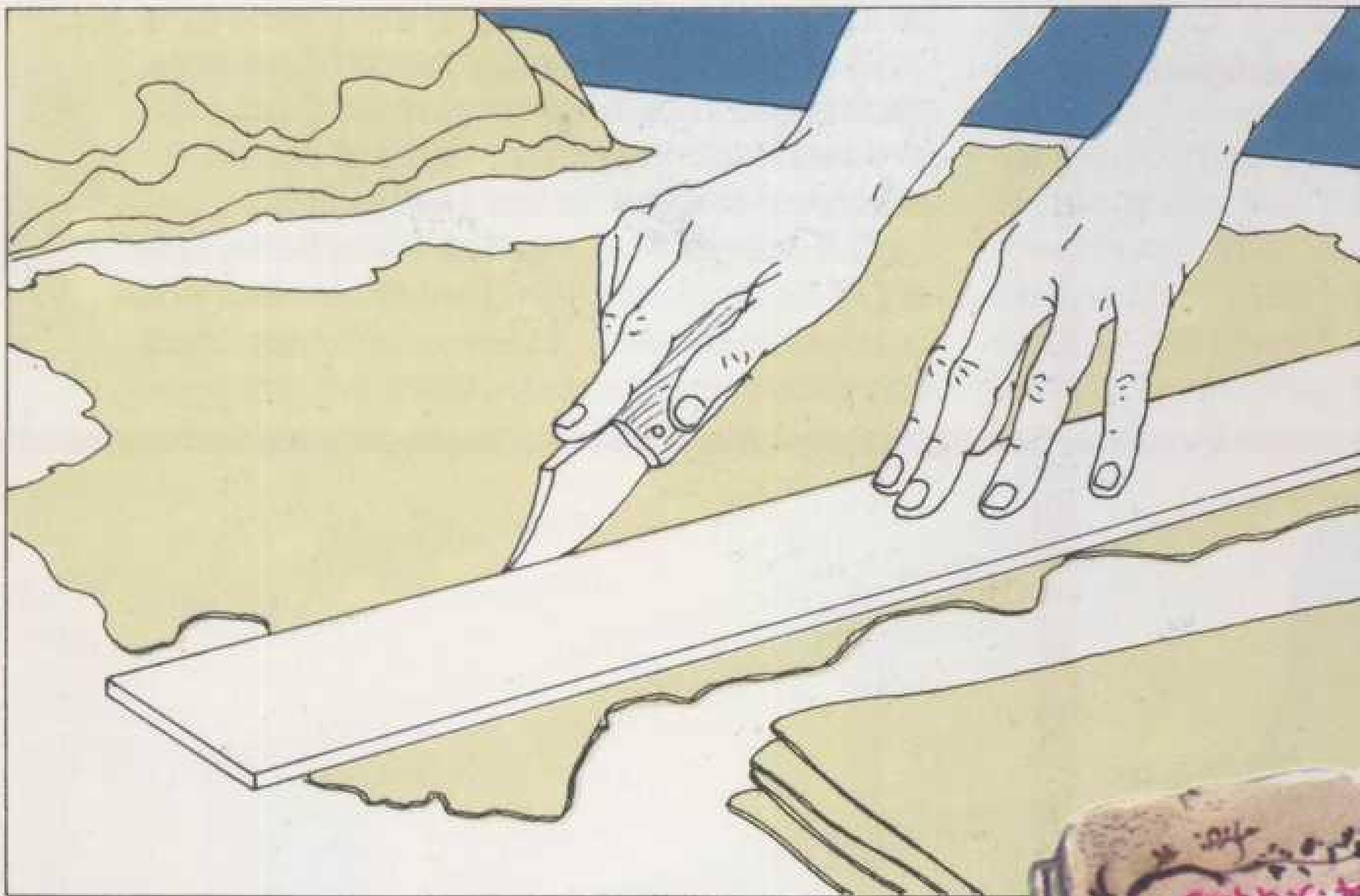


Ptolomeo. Griegos y romanos llamaron al nuevo material *membrana*. El uso del pergamino para la copia de libros se propagó desde fines del siglo I, cuando comenzaron a divulgarse los libros en forma de códice: los judíos estaban obligados a copiar la Ley sobre piel y los primeros cristianos utilizaron los delicados y a la vez resistentes pergaminos para transcribir los textos litúrgicos. El papel, obtenido de pasta de madera, inventado en China e introducido en Europa a través de España por los árabes en el siglo XIV, fue sustituyendo gradualmente al pergamino, debido a que su proceso de producción era menos costoso.

En la actualidad, el pergamino es usado solamente para documentos especiales. Un pergamino vegetal, imitación del pergamino animal, se obtiene de la celulosa y se utiliza para envolver alimentos blandos o pegajosos, como la mantequilla y ciertos frutos secos, así como en los laboratorios de química para preparar filtros. El papel-pergamino, formado por fibras de papel que llegan a hacerse sumamente compactas mediante una elaboración especial, se obtiene sumergiendo papel normal en una fuerte solución de ácido sulfúrico y a continuación en amoniaco.

Véase **Libros; Papel, fabricación de**









Con la introducción del papel y el descubrimiento de la imprenta, el pergamino cayó en desuso, hasta quedar reservado casi exclusivamente para miniaturas, diplomas y algunas ediciones de lujo. Arriba: "El fabricante de pergamino", ilustración de 1568. En el centro, elaboración del pergamino: la piel, macerada en cal, después de haber sido raspada es puesta a secar bien tensa; de este modo se vuelve lisa y translúcida y, tras ser pulida, está en condiciones para que se escriba sobre ella. A la izquierda: contrato de matrimonio de los hebreos de Esmirna, en pergamino miniado (siglo XVIII) y tambor en madera, con membrana en pergamino. Usado en principio solamente para transmitir textos literarios y religiosos, a partir del siglo VII el pergamino fue destinado también a los documentos de carácter oficial, y, finalmente, incluso a los escritos privados. El papel, introducido por los árabes en España en el siglo XIV, desde donde pasó al resto de Europa, fue sustituyendo progresivamente al pergamino por el menor coste económico.

Periódico

Coinciden los tratadistas en señalar que el primer ejemplar de lo más parecido a un periódico después de que Gutenberg inventara la imprenta fue el *Nieuwe Tijdingen*, de Amberes (1605), aunque hasta bien entrado el siglo XIX la prensa no comienza a adquirir sus actuales características.

Si hay algo que pueda distinguir al diario de los demás medios de comunicación es su capacidad de fomentar el diálogo entre los usuarios —en este caso los lectores—. Un periódico es en este sentido una especie de ágora colectiva, un sistema de participación ciudadana, y un acto cultural. Pero un periódico es también una mercancía, en torno a la cual se ha organizado una gigantesca industria.

Si es verdad que toda actividad industrial tiende a considerarse peculiar y distinta a las otras, no es menos cierto que la prensa desde este punto de vista representa un sector del todo atípico: se trata de una industria sin *stocks*, que utiliza una mano de obra muy cualificada y exige un complicado sistema de gestión, pues tiene que hacer frente a la comercialización de dos productos diferentes en dos mercados diferentes: la venta de noticias y comentarios a los lectores y la de espacios publicitarios a los anunciantes.

Las estadísticas de la UNESCO aseguran que a mediados de la década de los setenta se imprimían en el mundo cerca de ocho mil periódicos, con cuatrocientos millones de ejemplares diarios (aparte de otros casi dos mil títulos publicados en China y que no aparecían en estas cifras). La media de ejemplares difundidos era de 130 por cada mil habitantes.

Estas consideraciones no deben hacer perder de vista la más sensible de las peculiaridades del producto: la prensa es una *empresa de ideas*.

Los géneros periodísticos La tradición de la prensa escrita ha llevado a la creación de verdaderos géneros con estilo propio.

La *noticia* es el género periodístico por excelencia: trata de informar, en el menor número de palabras posible, de lo esencial de un hecho o de una situación. Es por su propia naturaleza breve, pretende ser objetiva e incluir el mayor número de datos posibles en el más pequeño espacio deseable. No se presta a ningún lucimiento literario. El estilo es frío, impersonal. La noticia, que algunos definieron en su día como todo *lo nuevo interesante*, es en definitiva la base de toda actividad informativa.

El *reportaje* es una noticia desarrollada, que incluye hechos actuales que ya no son noticia. También, en ocasiones, incorpora las opiniones de los protagonistas del suceso y de las personas afectadas. El reportaje *en profundidad* supone un esfuerzo de análisis por parte del autor, trata de explicar las motivaciones de lo sucedido y de exponer sus consecuencias, busca en los antecedentes próximos o remotos y se presta a un buceo literario y estilístico en la descripción de las situaciones.

La *entrevista* es una de las formas del reportaje. Comúnmente se trata de un diálogo entre el periodista y el protagonista de una noticia. Gran cantidad de la actividad informativa de los periodistas de hoy está compuesta en una u otra forma por entrevistas, declaraciones y consultas telefónicas. En las entrevistas es preciso enmarcar con precisión el carácter y personalidad del interrogado: edad, circunstancias familiares y personales, modo de vida.

La *crónica* es el reportaje escrito por un corresponsal o un enviado especial. En el primer caso su característica primordial, aun cuando no la perciba el lector, es la frecuencia. Un corresponsal escribe con una periodicidad normalmente fija: a diario, semanalmente, mensualmente. De hecho, el término *crónica* sirve para definir la narración sobre los sucesos de un tiempo determinado.

El *artículo de fondo*, o *fondo* simplemente, es un comentario firmado. Su objetivo fundamental es exponer las ideas personales del autor sobre los hechos.

El *editorial* es un artículo sin firma, que expresa la opinión del periódico. Los editoriales de los periódicos nunca van firmados ni siquiera por el director.





Qué, quién, dónde, cómo, cuándo, por qué En los comienzos del periodismo profesional estadounidense un aforismo señalaba ya los elementos principales que debe contener una noticia, es decir, los datos imprescindibles para que el receptor se considere bien informado. Estas condiciones básicas de toda información reciben popularmente el nombre de las *seis uves dobles*, por correspondencia con las iniciales de cinco de ellas en inglés: *Qué* ha sucedido (What), *Quién* lo ha hecho (Who), *Dónde* (Where), *Cuándo* (When), *Cómo* (How) y *Por qué* (Why).

Se supone que toda la información correctamente redactada debe contener los datos correspondientes a estas seis interrogantes, a las que frecuentemente se añade la necesidad del *para qué*. El desarrollo de los diversos medios de comunicación y la complementariedad entre ellos hace que muchos señalen la superioridad del periódico a la hora de explicar el *por qué*, y que ésta, que era la última de las seis *uves dobles*, se convierta en una de las más importantes en el terreno de la prensa escrita (*periodismo interpretativo*).

Es usual que las noticias redactadas para su publicación en prensa sigan la regla de la *pirámide invertida:* escribir la noticia de manera que lo más interesante de la misma vaya al principio y lo menos interesante al final. Eso ayuda a la lectura rápida de la información y facilita el trabajo de ajuste en los periódicos si sobran líneas, pues basta con saber que el final es siempre de donde se debe cortar. Al primer párrafo de una información se le llama *entrada* o *lead*. Aunque no siempre recoge las *seis uves dobles* famosas, normalmente la entrada contiene los datos más esenciales e interesantes de la información. Los *titulares* corresponden de ordinario a lo que se dice en la entrada y tratan también de resumir el mayor número de datos posibles. No obstante es muy diferente la manera de titular según se trate de periódicos dirigidos al gran público (*The Sun*, de Londres) o de diarios más reflexivos e interpretativos (*Le Monde*, de París). El titular principal de una información se llama *cabeza*. Los otros (en letra más pequeña) reciben el nombre de *antetítulo*, si van antes de la cabeza, o *sumario*, si van después.

Del bosque a la rotativa Desde que en 1849 Hipólito Marinoni inventara la primera rotativa —6.000 ejemplares/hora— los sistemas de reproducción e impresión de periódicos han evolucionado considerablemente. No obstante, el principio básico sigue siendo el mismo utilizado a partir de Gutenberg: imprimir con tintas y sobre papel un mensaje escrito.

El papel es la principal preocupación de los gerentes de cualquier diario. Se lleva más de la mitad de su gasto, está sometido además a las fluctuaciones del cambio de moneda y obligaciones aduaneras, y precisa de un almacenamiento en condiciones específicas de humedad, temperatura y espacio.

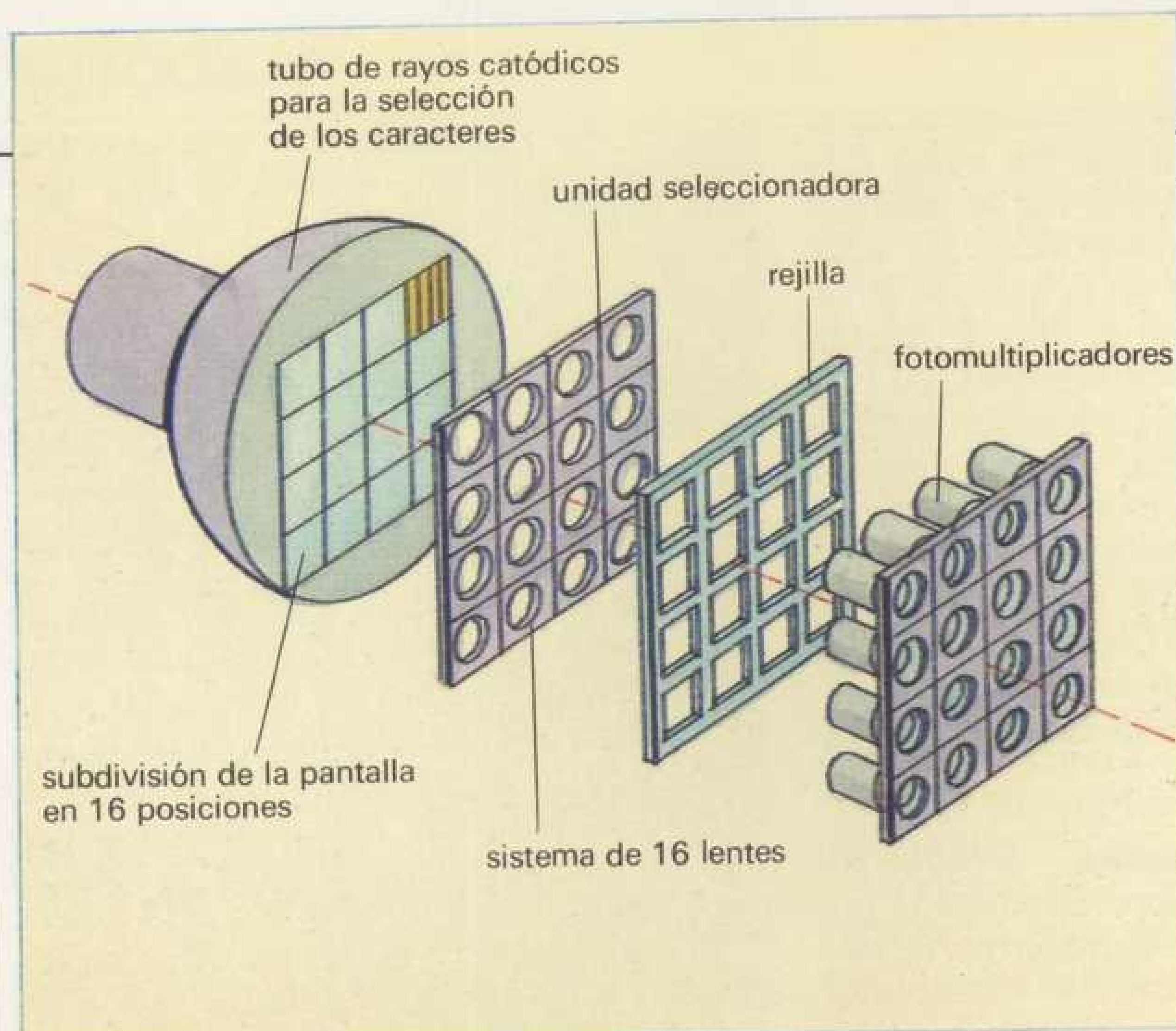
Las técnicas de fotocomposición y *offset*, que vienen reemplazando con rapidez en los últimos años a la vieja linotipia y a la tipografía, han permitido abaratar las inversiones en maquinaria y los gastos de personal de los periódicos. Las rotativas *offset* —más rápidas, ligeras y limpias que sus antecesoras tipográficas— ofrecen además una mejor calidad de reproducción, especialmente en color. Las rotativas modernas permiten una producción de un periódico tabloide de casi cien páginas a cincuenta mil ejemplares/hora y con absoluta limpieza de impresión. El proceso de recuento de periódicos y empaquetado de los mismos con destino a los distribuidores está absolutamente automatizado, lo mismo que el manipulado de las grandes bobinas que, con 800 kilos de peso y más de medio kilómetro de longitud de papel, pueden ser manejadas y colocadas en los desenrolladores de la máquina por un solo hombre. Un sistema de empalme también automático permite que no sea necesario detener la rotativa para sustituir una bobina por otra nueva.

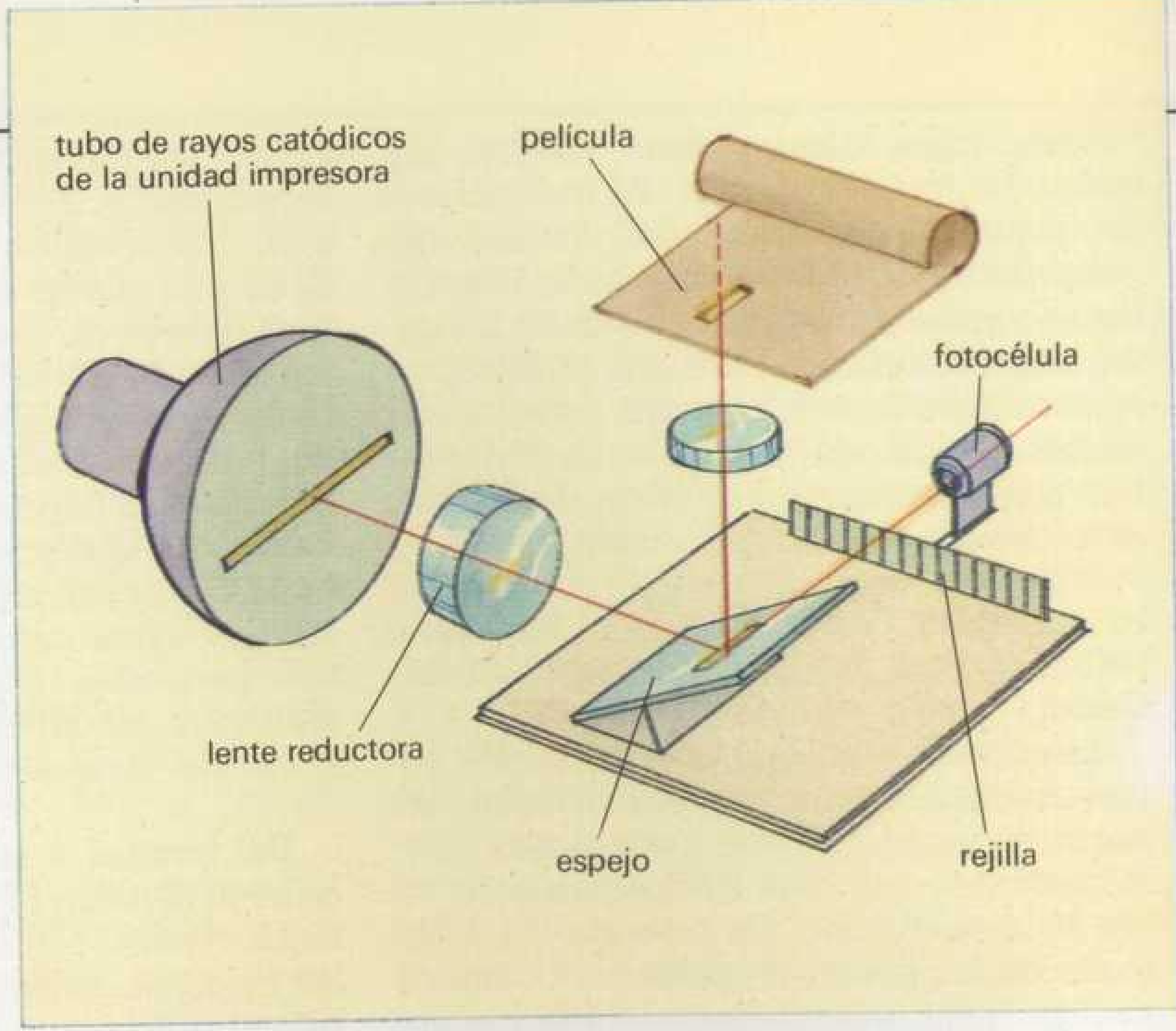
El conocimiento de las técnicas de impresión y de las posibilidades que cada una de ellas encierra puede no ser necesario para la formación de un buen reportero, pero resulta imprescindible para todo el que quiera dirigir un periódico o

El periódico, junto a los demás medios de comunicación de masas, tiene una importancia fundamental para formar la opinión pública. La articulación de los diversos servicios periodísticos es particularmente compleja, e incluye periodistas, reporteros gráficos y una red de distribución de los periódicos. Para conseguir que los periódicos lleguen a tiempo a los lugares más diversos se utilizan todos los medios de transporte disponibles (carretera, ferrocarril, avión) con el fin de alcanzar una distribución eficaz. Los quioscos constituyen los puntos de venta más típicos. Sólo en las pequeñas poblaciones la distribución se efectúa en comercios en los que se vende la prensa junto con los más diversos artículos. Cada vez tiene más importancia la suscripción. En muchos países está también muy difundido el reparto a domicilio.









una redacción. En realidad toda la tarea de un periodista se reduce a estas dos acciones sencillas de enunciar: recolectar noticias y prepararlas adecuadamente para su reproducción mecánica y su difusión. En el primero de los pasos reside esencialmente la actividad informativa e investigadora del redactor, sea cual sea el medio para el que trabaja. La *preparación* se refiere no sólo a la necesidad de una redacción cuidada y conforme a las normas de estilo establecidas, sino también al manipulado técnico y artístico. En la prensa escrita se corresponde con la *confección* del periódico.

Desde que una noticia se produce hasta que se imprime podríamos determinar pues estos estadios intermedios de la información: a) Recolección de noticias (*Reporting*). b) Preparación de las mismas: escritura (*Writing*); corrección y edición, con añadidura de datos documentales y cumplimiento de las normas de estilo (*Editing*); confección (*Desing*).

El departamento de confección y diseño es de una importancia singular en cualquier periódico moderno. Sus responsables precisan asumir una concepción global del periódico que tienen entre las manos: conocer las características de las noticias que manejan, la importancia —en ancho de columnas y tamaño de titulares y texto, así como en la ubicación— que han de darle. Los confeccionadores deciden las fotografías que se publicarán; establecen, junto con el redactor jefe, los dibujos y las ilustraciones, y han de tener en cuenta que el equilibrio de cada página y de cada sección no se rompa por el impacto visual de la publicidad. En la confección de un diario es esencial la *primera página*, verdadero escaparate de las noticias y comentarios que encierra.

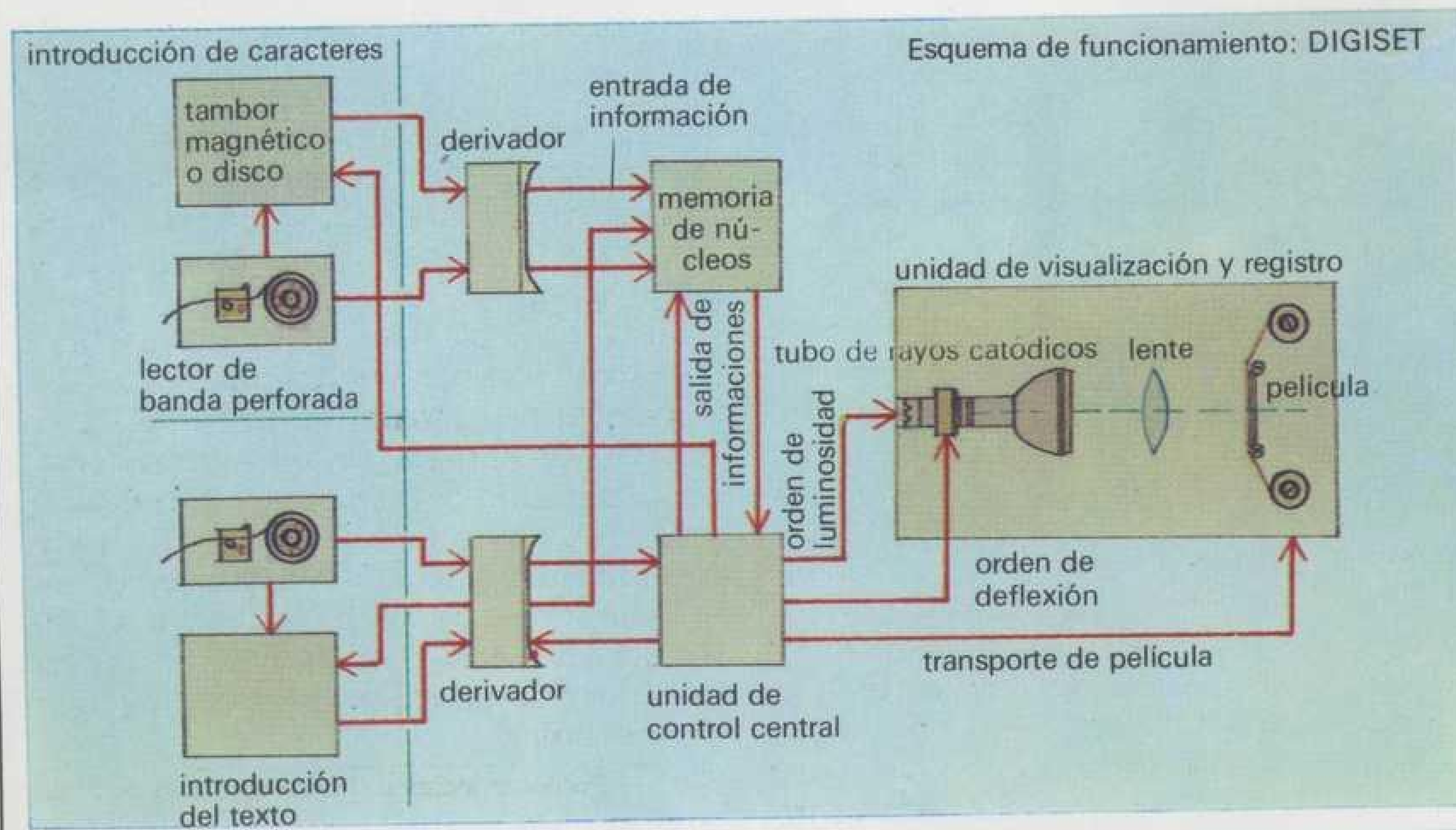
Las técnicas de confección varían extraordinariamente en relación con el formato del periódico. Este, en Europa, tiende a ser tabloide, mientras los Estados Unidos y América del Sur siguen mayoritariamente fieles al llamado formato grande o *sábana*. La elección progresiva del tabloide, al margen de su comodidad discutible —es de más fácil manejo pero la vista recorre menos noticias y percibe menos información en igual tiempo—, viene avalada precisamente por el costo del papel.

La memoria oportuna: documentación e informática Si la redacción es el corazón de un periódico, el servicio de documentación es su cerebro. Un archivo biográfico y otro temático, una buena hemeroteca microfilmada con publicaciones nacionales e internacionales tanto de información general como especializada, una biblioteca y un archivo fotográfico y otro cartográfico componen el mínimo necesario de un servicio de documentación.

Además, un servicio de documentación necesita dar respuestas rápidas y concretas a las demandas de la redacción sobre los temas más variados.

El desarrollo de la informática ha permitido desde hace una década la creación de grandes *bancos de datos* que interconectados entre sí contribuyen a la creación de *redes* documentales. Estos bancos reciben su aportación de numerosas fuentes y a través de terminales de ordenador ofrecen a sus clientes la información solicitada. El *New York Times* viene desarrollando desde 1973 un banco de datos (*Infobank*) que está conectado a su vez con la red INCA, una de las más importantes y versátiles que existen. Un centenar de periodistas del prestigioso rotativo trabajan a diario en la redacción de resúmenes y puesta al día de información. Además del *New York Times* procesan otros sesenta periódicos y revistas. De esta manera numerosos periódicos locales norteamericanos pueden mantener simplemente un pequeño servicio documental de uso doméstico y de dimensiones más que discretas, y enlazar con el banco de datos del *Times* cuando requieren información sobre temas internacionales, científicos o especializados.

La distribución de la prensa Los prohombres estadounidenses creadores de



Fotocomponedora de tubo de rayos catódicos. La cinta lleva, por el primer tubo, la orden de selección e iluminación del carácter requerido (esquema de la izquierda). El fotomultiplicador activado provoca la transformación de las señales luminosas en impulsos eléctricos: éstos pasan al segundo tubo, donde se obtiene la imagen del carácter. Desde aquí se dirige, mediante lentes y espejos móviles, a la película fotográfica. El esquema de abajo muestra cómo la matriz portacaracteres se fija en el tambor. Las matrices de los caracteres se sustituyen en estos sistemas avanzados por soportes informáticos en los que se han digitalizado cada uno de los caracteres.

grandes imperios de prensa gustan de contar ellos mismos con orgullo la historia de su esfuerzo humano y singular: "Yo empecé vendiendo periódicos".

Uno de los mayores desafíos con que tiene que luchar precisamente la prensa escrita es la realidad de que los diarios solicitan un esfuerzo adicional al de ser leídos: el de ser comprados cada día.

Enviados a las diversas ciudades por avión, por carretera, por tren, los diarios de circulación nacional tienen necesidad en la mayoría de los países de ser impresos varias horas antes de que lleguen a las manos del lector. Un sinfín de noticias habrán sucedido en ese espacio de tiempo y los ciudadanos ya sabrán de ellas a través de la radio. Por si fuera poco, los porcentajes de invendidos —que sobrepasan con frecuencia el diez por ciento de los ejemplares impresos— suponen, dado el precio del papel, una enorme cantidad de dinero, y puede decirse que entre unas y otras cosas —costo de la devolución, comisiones y corretajes a los vendedores y distribuidores, coste del transporte— la distribución de un gran diario nacional devora hasta el 35 por ciento de los ingresos obtenidos por ventas.

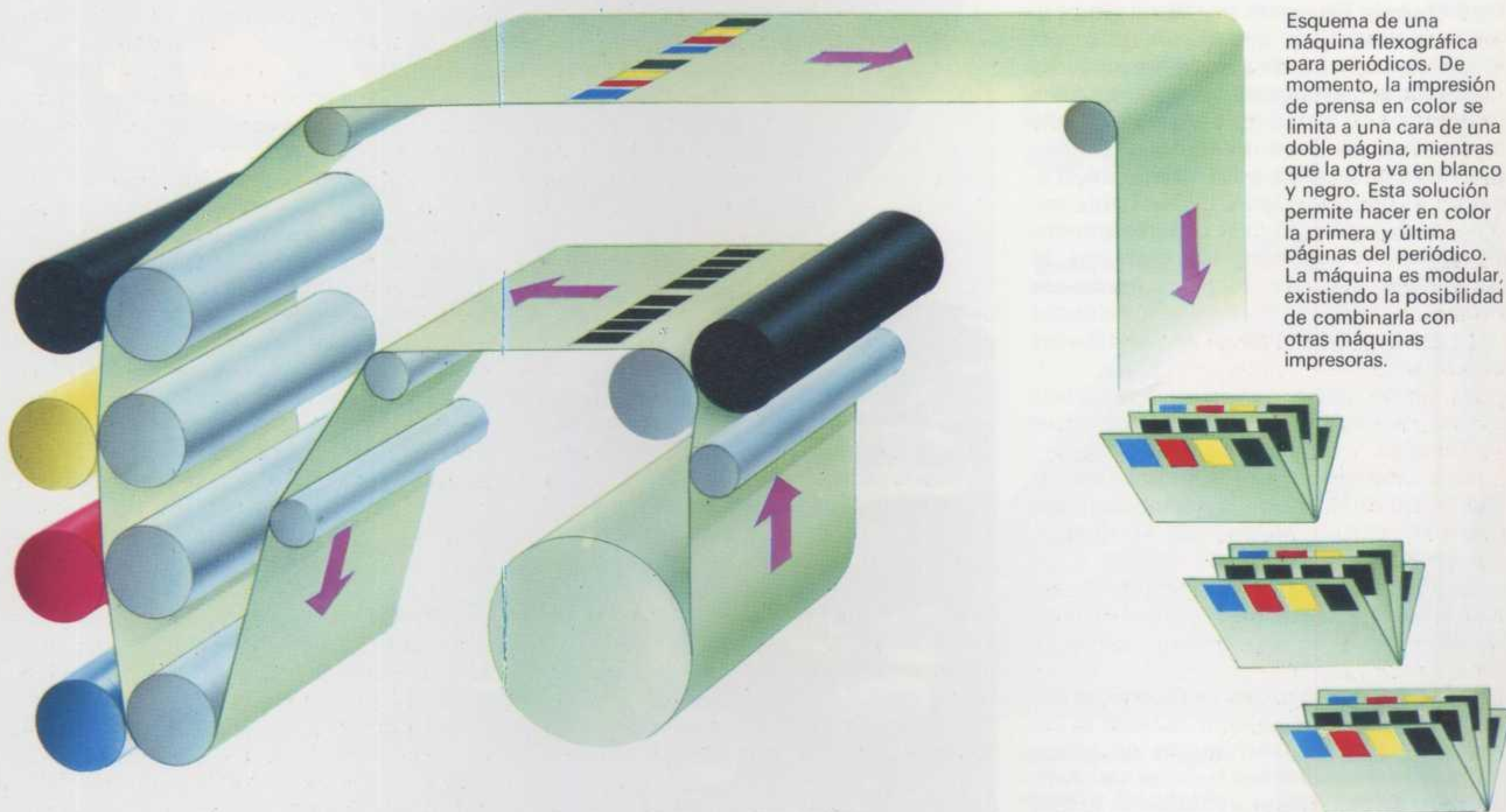
A través del telefacsímil —envío a distancia a través de un hilo telefónico de las páginas completas de un periódico— y de la impresión simultánea en diversos puntos de un país de un mismo diario, estos tratan de vencer las dificultades de la lejanía y el transporte. Las suscripciones contribuyen a reducir los porcentajes de invendidos y a garantizar un financiamiento previo del periódico, amén de un montante de ventas que permita prever una estabilidad. Los japoneses tratan de combinar ambas experiencias mediante el servicio a domicilio de las propias suscripciones por el citado telefacsímil (el *Asahi Shimbun* de Tokio tiene varios miles de abonados a este servicio). La combinación de las técnicas electrónicas y de los diversos medios de comunicación contribuirá así al mantenimiento y desarrollo de la prensa escrita.

Hacia una revolución del periodismo: la escritura electrónica Hace apenas treinta años si algún periodista pedía en uno de los cafés en los que habitualmente recalaba la profesión su *recado de escribir*, un camarero le servía una pluma, el tintero y papel. Este *recado de escribir* era el instrumental básico de cualquier periodista antes de que las *Hispano-Olivetti* o las viejas *Remington* dejaran oír su tableteo mecánico en las redacciones. Hoy en día tiene la apariencia y el contenido de un vedeoterminal de ordenador.

La desaparición del papel en las redacciones es ya una realidad. La aplicación de los avances electrónicos a la producción y distribución de diarios está revolucionando no sólo las condiciones técnicas e industriales de la prensa sino los hábitos y modos de escribir de los periodistas. Centenares de publicaciones utilizan ya los videoterminales electrónicos como sistema habitual de producción. Los periodistas no escriben sobre papel, sino sobre la pantalla de la terminal, conectada a un cerebro electrónico. Un programa pensado para las necesidades específicas de los diarios permite a los redactores realizar sobre la pantalla toda la gama de actividades propias de la edición, corrección y confección de las noticias. Así, tachan, corrigen, mueven textos, sacan copias, titulan, determinan el tamaño de las informaciones... Todas las operaciones habituales son hechas sobre la terminal. A partir de ahí el ordenador realizará las tareas tipográficas; una vez recibidas las órdenes que los confeccionadores le envían, automáticamente se compondrá el texto en unas fotocomponedoras ultrarrápidas. Una gran cantidad de intermediarios en el manejo de los textos periodísticos es eliminada así de los talleres de artes gráficas. Todo el material, redaccional y publicitario, de un periódico puede ser procesado a través de los videoterminales que a su vez enlazan con los ordenadores de los bancos de datos y servicios de documentación.

Pero no es sólo la aplicación en las técnicas de preimpresión. La aparición del *videotex* supondrá también una revolución en los hábitos comunes a la hora de recibir la información a domicilio. Sentado ante la pantalla de su televisor, accionando un sencillo teclado el ciudadano medio podrá tener inmediato acceso lo mismo a la Bolsa del día que a las noticias internacionales, a la cartelera, que a los anuncios por palabras. Toda vez que el videotex está operado por un ordenador, la versatilidad y variedad de selección en la oferta de información es impresionante. Los bancos de datos podrán ser incluidos en su red y puede decirse que dentro de una década cualquier ciudadano de un país desarrollado tendrá acceso en un día a más cantidad de información que en toda su vida un investigador de hace un par de siglos.

Véase **Fotocomposición; Impresión; Impresión en *offset***



Esquema de una máquina flexográfica para periódicos. De momento, la impresión de prensa en color se limita a una cara de una doble página, mientras que la otra va en blanco y negro. Esta solución permite hacer en color la primera y última páginas del periódico. La máquina es modular, existiendo la posibilidad de combinarla con otras máquinas impresoras.

Permafrost

En las regiones cicumpolares es frecuente que el suelo esté permanentemente helado a una cierta profundidad, por debajo de una delgada capa de terreno que alternativamente se hiela y se deshiela. Ese nivel del suelo que permanece helado durante todo el año recibe el nombre de *permafrost* o *pergelisuelo*, mientras que la capa superficial que lo cubre y que se deshiela en verano se denomina *mollisol*.

El permafrost representa cerca del 20% de las tierras emergidas y se localiza en las regiones circumpolares y en algunas zonas montañosas. La capa permanentemente helada puede alcanzar grandes profundidades: sondeos efectuados en la tundra siberiana indican que el permafrost alcanza en algunos sectores los 600 metros de profundidad, deshelándose en el verano la superficie hasta una profundidad de unos 10-60 cm, lo que da lugar a que se formen charcos, pantanos y lagos poco profundos. La capa de lodo así formada puede fluir en el sentido de la pendiente dando lugar a deslizamientos (*solifluxión*) y a la formación de terrazas.

El primer permafrost del que se tienen referencias se formó en el Artico durante el Cuaternario, hace cerca de dos millones y medio de años; posteriormente, al finalizar el período glaciar que lo había originado, desapareció casi completamente. Las glaciaciones posteriores, cada una de las cuales tuvo una duración media de unos 100.000 años, volvieron a extender radialmente el permafrost hasta latitudes más bajas.

La mayor parte del permafrost ártico actual tiene una antigüedad de unos 70.000 años.

Ocasionalmente, en el permafrost se han encontrado restos de animales ya extinguidos, como los mamuts. En Alaska, por ejemplo, apareció una cabeza y los cuartos delanteros de un ejemplar joven, y en Siberia también se han hallado diversos restos de este tipo.

Implicaciones técnicas y económicas del permafrost Normalmente durante el invierno es posible desplazarse en trineo sobre las extensas áreas heladas del Artico, pero en los meses estivales la fusión de las capas superficiales inutiliza este medio de transporte. Esto acarrea también importantes problemas técnicos en ingeniería: las construcciones no pueden asentarse directamente sobre el suelo, ya que corren el peligro de quedar inundadas o de experimentar un posible deslizamiento gravitatorio sobre la capa de fango formada en la estación de deshielo. Este problema se palía en parte asentando las construcciones sobre extensiones de arena o de grava, que al ser porosas permiten la circulación del agua, o mediante la construcción de canales y tuberías que drenen el agua de los cimientos.

Las conducciones de alcantarillado, de agua potable, gas, petróleo, etc. se enfrentan a otros problemas: además del riesgo de rotura de éstas por los movimientos del suelo debidos a la alternancia de fases de hielo y deshielo, hay que evitar que los fluidos se congelen en el interior de las tuberías. El problema de la solifluxión se resuelve elevando las tuberías sobre unos pilares verticales y horizontales, a modo de caballetes, que absorben los desplazamientos del suelo sin que éstos afecten a



Arriba, fotografía tomada desde un satélite de Alaska septentrional, en la bahía de Prudohe, donde es frecuente la existencia de permafrost; pueden verse los icebergs desprendidos de los casquetes glaciares. El permafrost es propio de las zonas llanas, donde predomina la infiltración del agua hacia las capas profundas del terreno, próximas a la zona de congelación. En la parte superior, →

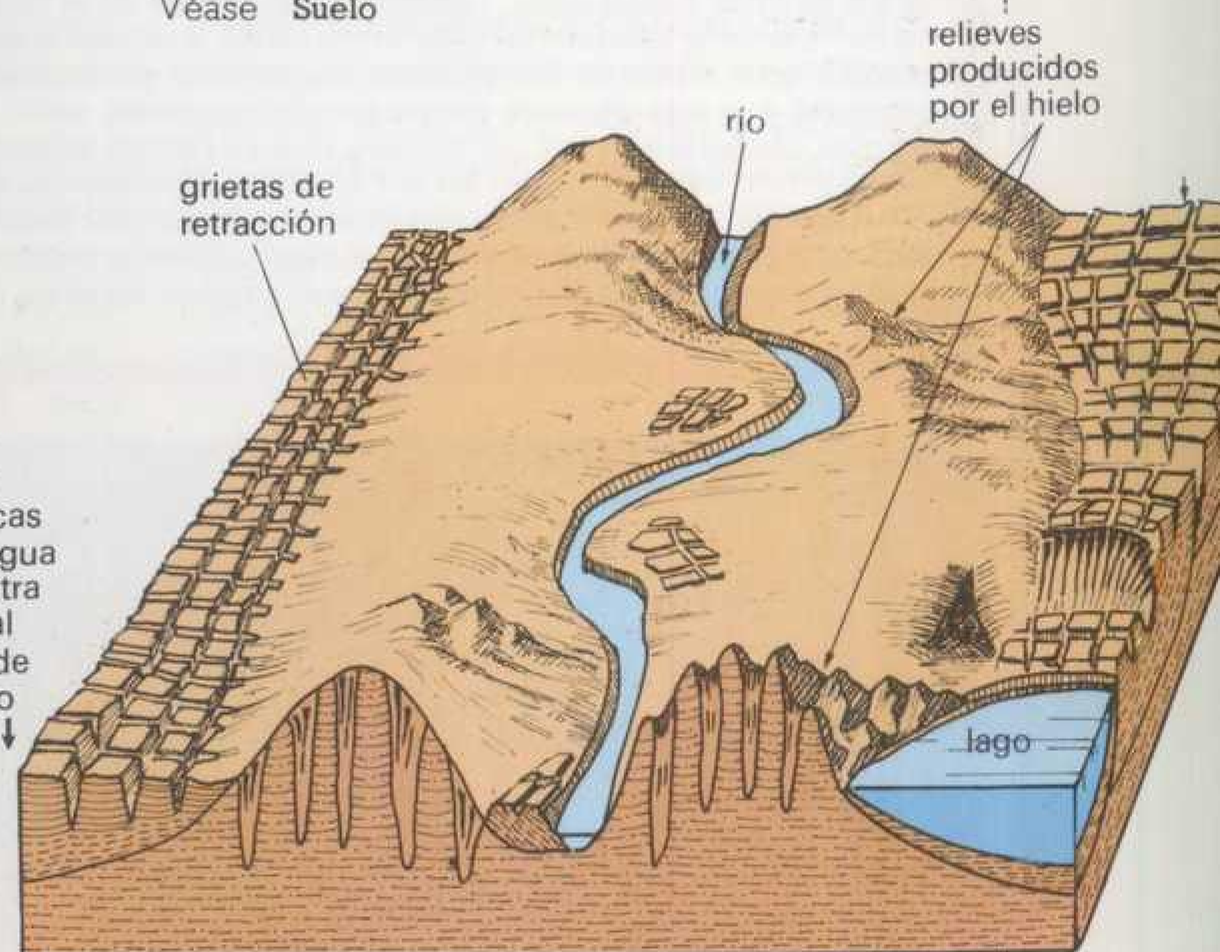
las tuberías, mientras que el congelamiento de los fluidos se evita mediante el revestimiento de las conducciones con material termoaislante y con la instalación de estaciones de caldeamiento y bombeo, en las que se eleva la temperatura de los fluidos conducidos.

Problemas técnicos similares plantea el tendido de líneas de ferrocarril y de carreteras, que requieren un mantenimiento continuado muy costoso.

El permafrost y el medio ambiente En las zonas donde existe una cierta capa de vegetación cubriendo el suelo, ésta protege de la insolación a la capa superficial o mollisol, impidiendo una fusión excesiva; sin embargo, en las zonas desprovistas de vegetación puede producirse durante el verano la fusión de un importante espesor de hielo. El tránsito de camiones o maquinaria pesada por estas zonas puede producir graves destrozos en el suelo, como agujeros que llegan a convertirse en pozos de agua o fango de hasta 15 metros de profundidad, o el deslizamiento del suelo fangoso, que puede acabar con la escasa vegetación que da consistencia al terreno.

Véase **Suelo**





→ distribución del permafrost: en Siberia es de poco espesor, y se extiende hasta latitudes bajas; en Norteamérica ocupa las regiones nórdicas, y en Groenlandia se desarrolla en las zonas no cubiertas por los casquetes glaciares. A la derecha, bloque-diagrama de una zona en la que se dan las condiciones ideales para la formación del permafrost. El relieve representado es consecuencia de las perturbaciones en el suelo producidas por la alternancia de épocas de hielo y deshielo (*crioturbación*). Abajo puede verse el resultado de este proceso sobre rocas consistentes: el agua superficial se infiltra por las grietas y al congelarse hace de cuña, aumentando ↓ el tamaño de la grieta, que puede rellenarse de materiales aportados por el agua o el viento. La repetición del proceso puede llegar a disgregar la roca (*gelifracción*).

sedimentos lacustres

sedimentos de llanura aluvial desecada con filones de hielo

sedimentos con cuñas de hielo, típicos de la desecación de un lago

agua

suelo

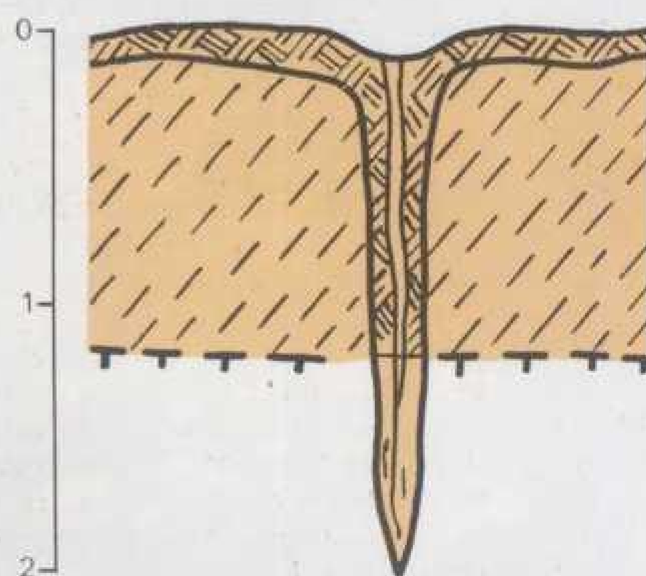
terreno pizarroso

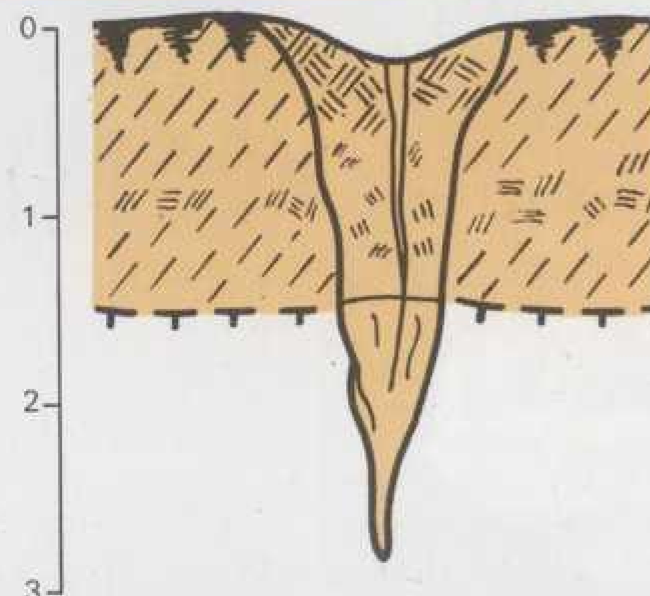
turba

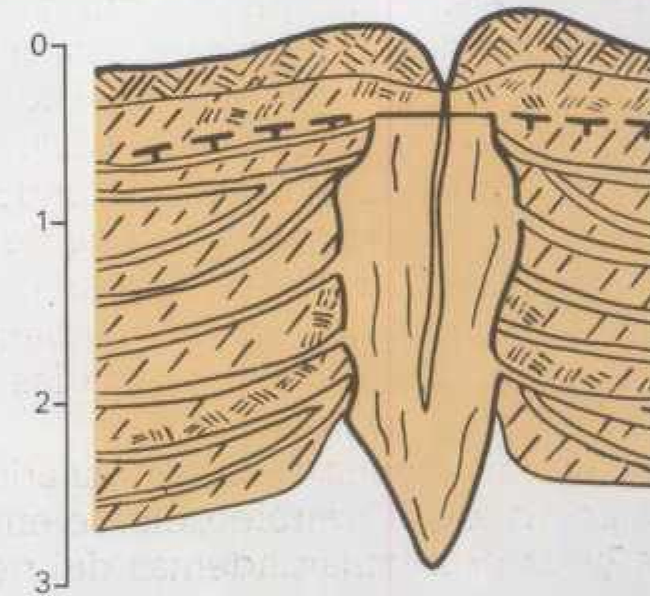
capas de hielo

límite superior del permafrost

filones secundarios de hielo







Pérmico, período

En Geología, se distinguen cuatro grandes Eras, con una duración total de más de 600 millones de años: la más antigua es la era Precámbrica, a la que siguen las eras Primaria o Paleozoica, Secundaria o Mesozoica y Cenozoica (períodos Terciario y Cuaternario), en la cual nos encontramos. Hasta el siglo XIX se pensaba que en épocas pasadas habían ocurrido grandes "cataclismos" en la Tierra, responsables de levantamientos súbitos de montañas, invasiones bruscas de los continentes por el mar, etc. Actualmente esta teoría, conocida como *catastrofismo*, está descartada, y se admite que los fenómenos geológicos han ocurrido lentamente, en el transcurso de muchos millones de años.

La era Paleozoica comenzó hace 570 millones de años y tuvo una duración aproximada de 345 millones de años. A lo largo del Paleozoico tuvieron lugar importantes ciclos orogénicos, que provocaron el plegamiento de los sedimentos más plásticos y el levantamiento de montañas, así como transgresiones y regresiones marinas. El Pérmico es el último período de la era Paleozoica, y tuvo una duración de unos 50 millones de años.

Geología del Pérmico A lo largo de este período se produjeron fenómenos orogénicos a nivel regional, con dos importantes fases de plegamiento. Tuvieron lugar grandes manifestaciones volcánicas y levantamientos de montañas (plegamiento herciniano), como es el caso de los montes Apalaches (en América del norte), los Urales, el Macizo Central francés, la Selva Negra, los Vosgos, etc. (en Europa), todos estos últimos restos de una gran cadena montañosa que atravesaba Inglaterra, Francia septentrional y Alemania. También se produjo una serie de ciclos orogénicos con gran actividad volcánica en Perú y Nueva Zelanda.

En cuanto a la Paleogeografía, en el Pérmico se unieron los tres continentes que existían en el Carbonífero (Gondwana, Angara y Noratlántico), formando un "supercontinente" o *Pangea*.

Los mares invadieron la parte occidental de Europa y Norteamérica. Hubo por lo tanto una sedimentación continua que dio lugar a las facies marinas del Pérmico. Debido a la continuidad de la sedimentación desde el Carbonífero hasta el Triásico, sólo pueden establecerse los límites estratigráficos a partir de la flora y fauna fósiles. El Pérmico se define mejor en las formaciones continentales.

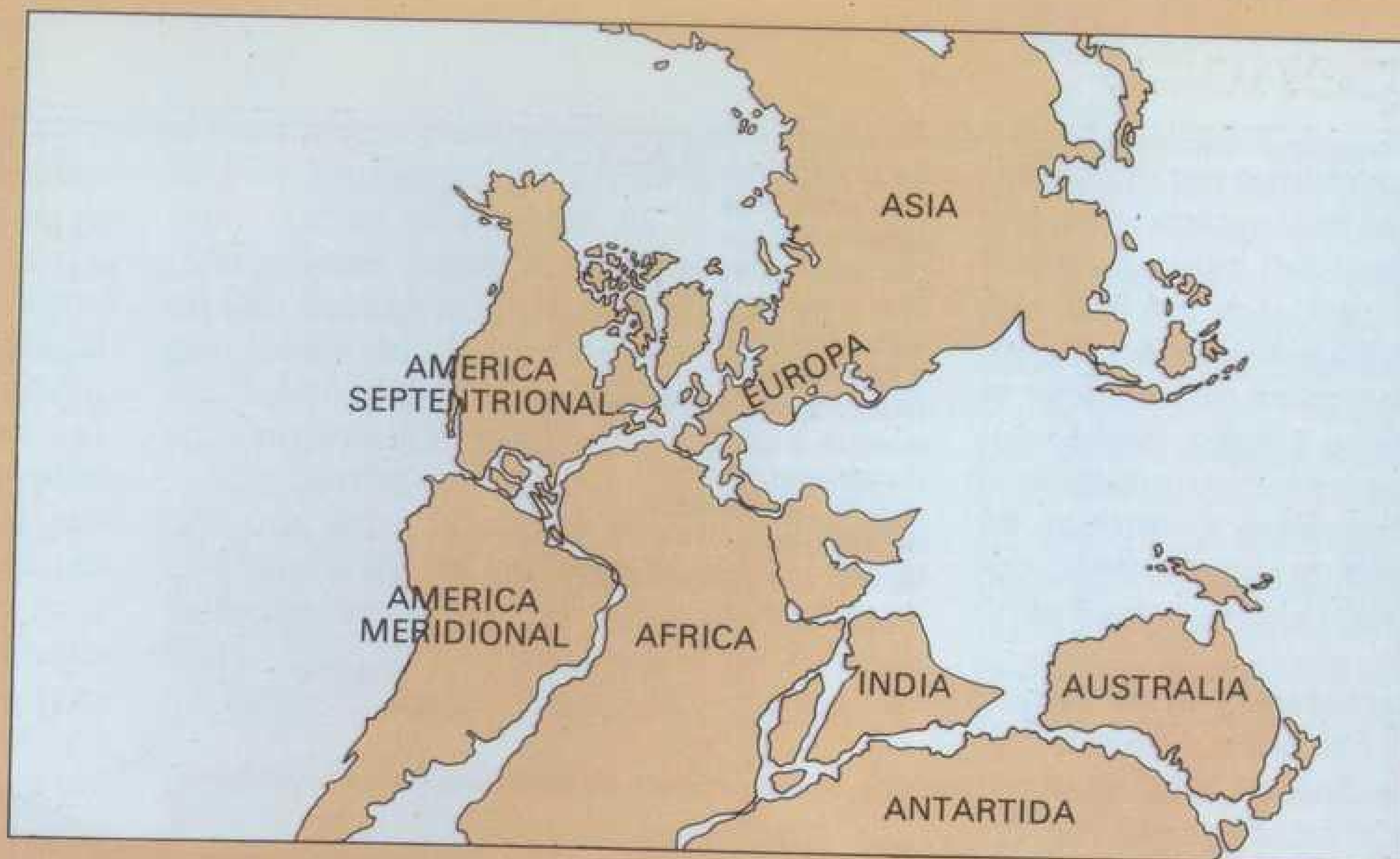
A finales del Pérmico, en diversas zonas de lo que hoy son Europa y Norteamérica, tuvo lugar una regresión de las aguas que dejó "atrapado" un mar interior que cubría gran parte de Kansas, Texas, Nuevo México y Arizona. La evaporación del agua ocasionó grandes yacimientos salinos. Algunos de esos yacimientos se pueden aún encontrar en muchas zonas de Europa occidental y de Norteamérica.

El clima en el Pérmico Durante este período se acusa un cambio con respecto al clima "tropical" del Carbonífero, al que sucede un clima árido y cálido en los continentes septentrionales, que acabó con la flora de tipo tropical. Se supone también que existieron fuertes vientos, responsa-

En el Pérmico había paisajes muy variados. Los tres más característicos los constituían los bosques tropicales de clima cálido y húmedo, las sabanas y los terrenos pantanosos. También se desarrolló en el Hemisferio sur una importante glaciación, y los continentes australes afectados conservan actualmente restos de formaciones glaciares de ese momento: morrenas, etcétera. Los más diversos ambientes continentales, salvo los glaciares, fueron conquistados por los reptiles, que ya habían aparecido en el Carbonífero superior, y que en el Pérmico evolucionaron en gran número de especies, aunque existía un número relativamente pequeño de individuos. Los reptiles adaptados al medio acuático estaban poco evolucionados, y convivían todavía con muchas especies de anfibios. Tan sólo algunos de los insectos que habían hecho su aparición en el Carbonífero estaban perfectamente adaptados para volar. La flora del Pérmico inferior estaba distribuida en zonas, de acuerdo con el tipo de clima existente. A finales de este período los continentes se unieron formando un único "supercontinente" (*Pangea*). Los polos geográficos y el Ecuador ocupaban una posición distinta a la actual, por lo que evidentemente muchas regiones tenían un clima que difiere mucho del que tienen hoy. Posteriormente se produjo la fragmentación del Pangea, iniciándose hace unos 200 millones de años la deriva continental, que sigue en la actualidad. Los movimientos de la corteza fueron acompañados por importantes fenómenos volcánicos.



Años 10^6	Eras	Períodos	
1,8	Cenozoica	Cuaternario	
		Terciario	Neógeno
67			Paleógeno
141	Mesozoica	Cretácico	
195		Jurásico	
230		Triásico	
280	Paleozoica	Pérmico	
347		Carbonífero	
396		Devónico	
435		Silúrico	
500		Ordoviciense	
570		Cámbrico	
2.700	Precámbrica	Proterozoico	
4.000		Arcaico	



El Pérmico es el último período de la era Paleozoica o Primaria, que terminó hace unos 230 millones de años. Su duración se data en 50 millones de años. Su paleogeografía se caracteriza por la unión de los grandes continentes que existían en el Carbonífero. El mapa de la izquierda representa la posición de las masas continentales a principios del Pérmico. La India estaba muy separada de Asia; Arabia y Oriente Medio estaban unidos a Africa, y América estaba muy próxima a Europa y Africa.

bles de la formación de extensas áreas con dunas. Aún hoy se conservan restos rocosos de aquellas dunas pérmicas.

En el continente de Gondwana, por el contrario, se desarrolló una importante glaciación, de la que han quedado vestigios en Africa austral, en la India, en Australia y en Sudamérica.

De lo expuesto puede deducirse que el Pérmico es uno de los períodos geológicos con más variaciones climáticas y geológicas de la historia de la Tierra.

La vida en el Pérmico Hasta el inicio de este período, los animales que dominaban sobre la Tierra eran los anfibios, para los cuales resultaba indispensable la existencia de un clima húmedo y un medio acuático donde poner los huevos y desarrollarse en sus primeros estadios larvarios. Mal adaptados al clima frío y seco, es fácil imaginar que muchos anfibios se extinguieron durante el Pérmico.

En el Carbonífero superior, que fue el período anterior al Pérmico, aparecieron ya los primeros reptiles sobre la Tierra. Este fenómeno ocurrió hace unos 310 millones de años. Pero fue durante el Pérmico cuando los reptiles —todavía muy abundantes— iniciaron un gran desarrollo y se adaptaron a numerosos ambientes gracias a la posibilidad de reproducirse con independencia del medio acuático: a diferencia de los anfibios, sus huevos poseían membranas protectoras.

En cuanto a la flora, no existen demasiadas diferencias entre las especies del Carbonífero y las del Pérmico inferior. Cuando empezaron a acusarse los primeros cambios climáticos, la flora tropical del Carbonífero comenzó a extinguirse. Los helechos arbóreos, típicos de las regiones pantanosas, desaparecieron con la llegada del clima desértico en los continentes septentrionales. En los continentes con clima frío debieron predominar las coníferas, más resistentes a las bajas temperaturas.

Los mares pérmicos también experimentaron importantes cambios bióticos. Los trilobites, artrópodos marinos que comenzaron a aparecer en el Cámbrico, se extinguen definitivamente durante este período. Se supone que los trilobites constituyeron un grupo biológico que agotó sus "reservas" evolutivas y no fue capaz de superar los cambios ecológicos que tuvieron lugar a finales de la era Paleozoica, posiblemente a consecuencia de las fases orogénicas.

El Pérmico fue un período caracterizado por la desaparición de muchas especies paleozoicas y por la aparición de otras nuevas, algunas de las cuales se extinguieron en el transcurso del mismo período.

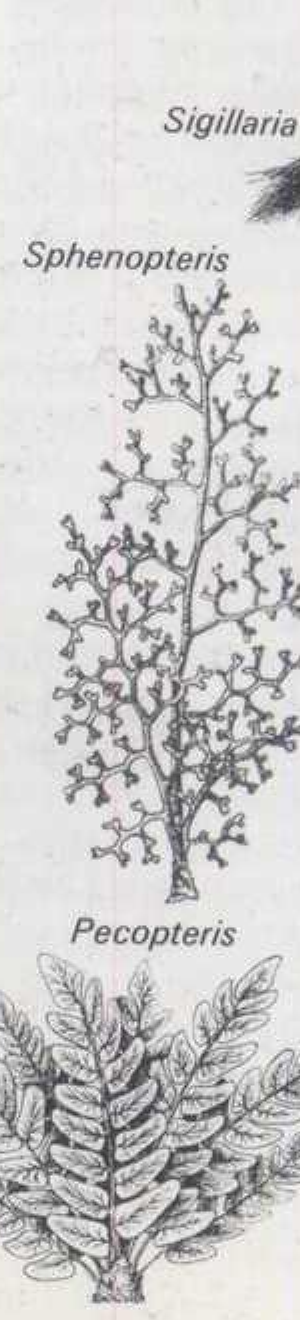
Véase **Cámbrico, período; Carbonífero, período; Cenozoica, era; Geología; Mesozoica, era; Paleozoica, era**

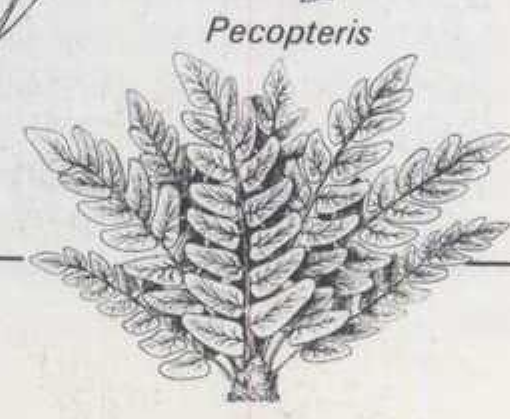
En la página anterior, reconstrucción ideal del ambiente continental en el Pérmico. A la izquierda pueden verse los árboles típicos de una vegetación tropical, con clima cálido y húmedo; en el centro, la sabana, y, a la derecha, una zona pantanosa. Los reptiles conquistaron muchos ambientes terrestres. En la figura se representan el *Moschops, Dimetrodon, Edafosaurus* y *Cacops*, un reptil acuático. La flora estaba distribuida en cuatro grandes zonas (restos de la distribución que existía en el Carbonífero superior) en relación con el clima de los continentes. La flora euroamericana era de carácter tropical, y el *Lepidodendron* era uno de sus representantes. La flora de Angara era de carácter frío, y era frecuente el género *Glossopteris*; la flora cathaysiana era de carácter intermedio, con abundantes *Gigantopteris* y, por último, la flora de Gondwana, también de carácter frío, era similar a la de Angara. El mapa bajo estas líneas representa la distribución de la flora en relación con la latitud; a la derecha se ven algunos de sus representantes típicos.

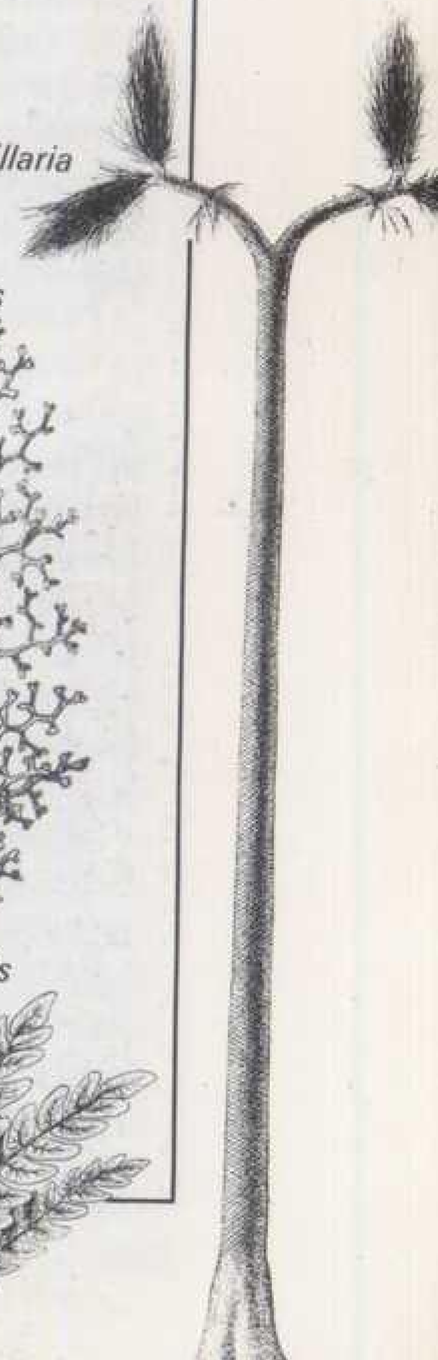












Perro

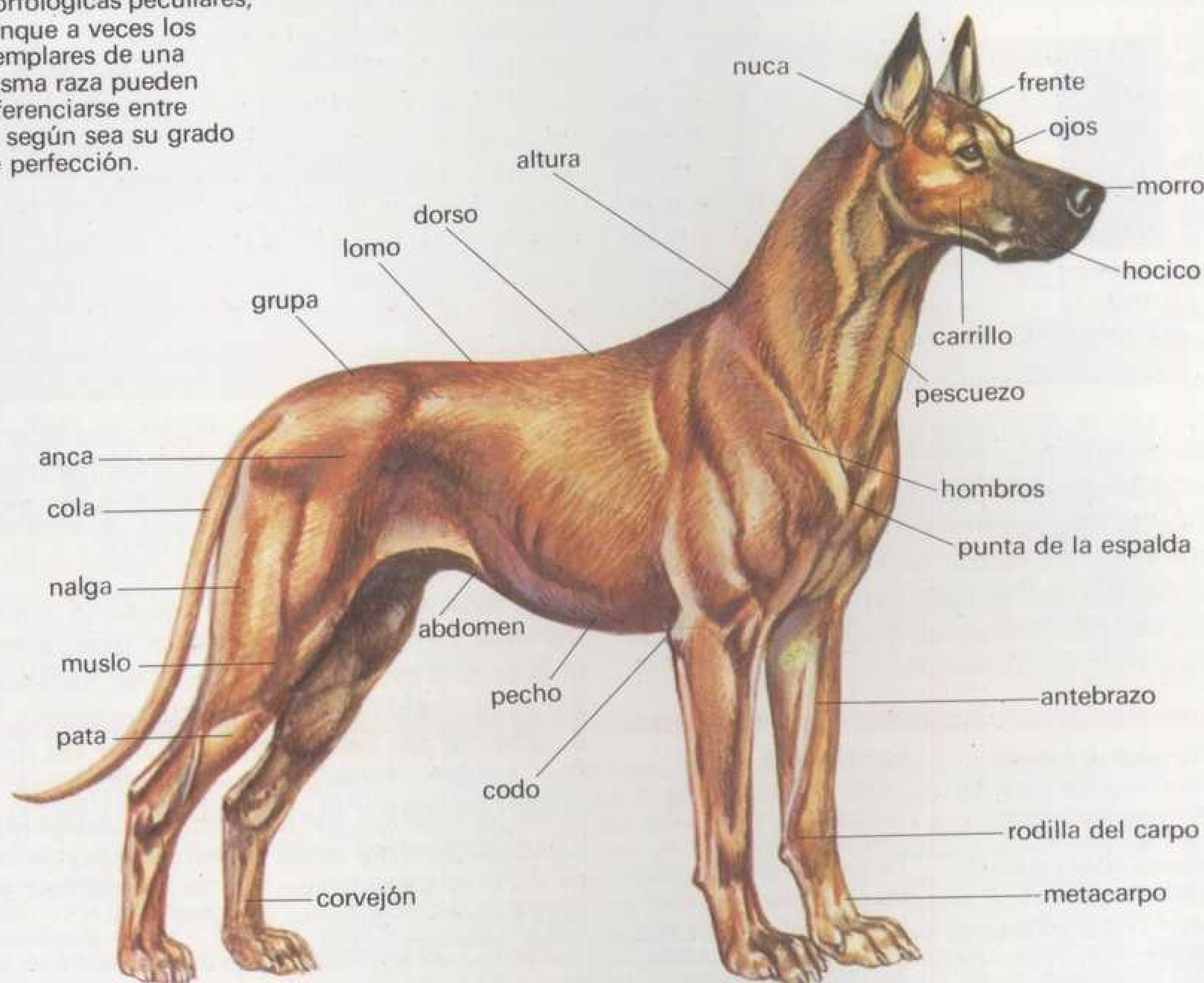
Los antiguos cementerios neolíticos demuestran que el perro doméstico forma parte de la comunidad humana desde hace al menos ocho mil años. Ha sido domesticado y sometido a selección durante tanto tiempo que resulta difícil saber el momento exacto de su origen, siendo necesario en cualquier caso remontarse a tiempos muy lejanos. Parece derivar de especies salvajes del mismo género, domesticadas por algún pueblo primitivo.

Características generales Los perros, junto con los lobos, chacales y zorros, pertenecen a la familia de los Cánidos, orden de los Carnívoros. Todos los perros domésticos son de la misma especie, *Canis familiaris*, y poseen las mismas características, si bien su natural diversidad y los cruces realizados por el hombre han provocado grandes diferencias en cuanto a dimensiones, pelaje, etc., como en el caso del pequinés y el pastor alemán, por ejemplo. Todas las razas caninas tienen una sólida dentadura formada por 42 ó 44 dientes, de los cuales los molares planos indican que la alimentación cárnica está mitigada, siendo prácticamente omnívoros. Los perros tienen cinco dedos en las patas anteriores y cuatro en las posteriores. Andan sobre los dedos, que están provistos de uñas no retráctiles, siempre descubiertas y por tanto sometidas a desgaste. A pesar de que la pupila de sus ojos es redonda, como la del hombre, y no elíptica, como la de los zorros, y de que su campo visual es de 250 grados (el del hombre es de sólo 180 grados), la vista no constituye el sentido más desarrollado del perro. En efecto, los perros no se sirven de este sentido del mismo modo que lo hacen los hombres, ya que tiene otros —el oído y el olfato— que están extraordinariamente desarrollados. Los perros son capaces de percibir el olor de una cucharadita de sal disuelta en 58 litros de agua o de una cucharadita de ácido acético en 5.850 litros de agua, así como de diferenciar los olores naturales de los artificiales: el hombre, por ejemplo, no es capaz de distinguir el almizcle auténtico del artificial, mientras que el perro lo advierte inmediatamente. El fino olfato de algunas razas las ha convertido en una gran ayuda para la caza.

También el sentido del oído se encuentra muy desarrollado en los perros. Son capaces de oír los tonos más altos y los más débiles, imperceptibles para el oído humano, así como de localizar la fuente de donde proviene el sonido. El cuerpo de los perros está casi desprovisto de glándulas sudoríparas, y se ve forzado a regular la temperatura por una intensa emisión de agua a través de los pulmones, mucosa bucal y lengua.

El macho alcanza la madurez sexual a la edad de un año; la hembra no conviene que empiece a reproducirse hasta los dos años y medio. El celo se manifiesta dos veces al año, y dura unas dos semanas, período en el cual las hembras pueden ser fecundadas. La gestación se prolonga durante unas nueve semanas y el promedio de crías, que nacen ciegas y muy débiles, suele ser de tres a seis por camada.

En el dibujo se indican las partes más destacadas de la anatomía de un perro. Por lo general, cada raza tiene unas características morfológicas peculiares, aunque a veces los ejemplares de una misma raza pueden diferenciarse entre sí, según sea su grado de perfección.



Cuando los perros macho están a punto de convertirse en adultos, comienzan a alzar la pata posterior para orinar, con lo que evitan vaciar completamente la vejiga de una sola vez. Se comportan de este modo para atraer a las hembras y trazar sus confines territoriales: alzando la pata, sus huellas resultan más evidentes y orinando frecuentemente logran dejar su olor esparcido en un territorio más amplio. Los perros macho se convierten, en especial durante la pubertad, en territorialistas.

Las hembras generalmente revelan sus tempranos instintos maternales apenas los cachorros han nacido. Ella los lacta y es muy posesiva en lo que les concierne durante las primeras seis semanas aproximadamente. Los cachorros, que nacen con los párpados cerrados por una membrana, abren los ojos a los diez días y son capaces de caminar a las tres semanas, al mes poseen todos los dientes de leche, que quedan sustituidos por los definitivos al cuarto o quinto mes. Se ha demostrado en algunos experimentos que un cachorro de tres semanas puede aprender algunos ejercicios tan bien y tan rápidamente como un perro adulto. La enfermedad más grave que afecta a los perros es la hidrofobia o rabia; sufren también de numerosos parásitos intestinales.

Razas caninas Los perros son clasificados según las tareas que desarrollan o por la utilidad que se les da. Las razas de caza —a las que pertenecen el pachón, el terrier, el pequeño lebrel inglés o galgo inglés, el lebrel inglés de pelo corto y el sabueso— descienden de los mastines ingleses y de los perros daneses, y se caracterizan por su olfato extremadamente desarrollado. El lebrel inglés de pelo corto, una de las razas más antiguas, es muy requerido por su velocidad. Es un perro ágil y esbelto, criado en un primer momento para dar caza a los conejos. Es el único perro cuyo ventrículo izquierdo es tan grande como el derecho y cuyos pulmones están más desarrollados en relación a su tamaño. Los ejemplares de esta raza suelen adiestrarse con el fin de convertirlos en buenos perros de carreras para los canódromos. El sabueso es el perro de búsqueda por antonomasia: no es muy veloz, pero esto no tiene gran importancia pues es usado fundamentalmente para seguir las huellas de los cérvidos. Las razas de muestra, como los *pointers* y los *setters*, no persiguen a la presa, sino que valiéndose de su fino olfato y sin ladrar siguen la pista de la presa, y la indican quedándose inmóviles y apuntando con la nariz y la pata en su dirección, de modo tal que el cazador sabe hacia donde ha de disparar. Los perros de aguas, entre los que se encuentran el *cocker*, el *springer spaniel* y el *retriever*, son particularmente hábiles en buscar y rescatar a la presa en el agua o en zonas pantanosas. Son óptimos nadadores, de paso seguro en los te-

rrenos pantanosos, y pueden, si son adiestrados debidamente, realizar las tareas de los perros de muestra. A pesar de que la mayor parte de los terriers son hoy perros falderos, algunas especies de esta raza canina descienden del *foxhound* (es seguramente el caso del foxterrier) y fueron alguna vez entrenadas para cazar pequeños animales que se esconden en madrigueras, como los tejones, los zorros y los conejos. El terrier de Boston, un perro muy popular, es la única raza canina originaria de Estados Unidos y se piensa que proviene de un cruce de bulldog y terrier. Los terriers de talla más grande son muy apreciados en el medio rural, ya que poseen gran habilidad para la caza de ratones y ratas.

Además de los perros de caza, otras razas útiles comprenden: los perros pastores, guardianes, de tiro y de salvamento. Los perros pastores escoceses son óptimos guardianes del rebaño y son mucho más rápidos que el perro pastor inglés, que originariamente fue entrenado para custodiar a las ovejas. El *welsh corgi*, un pequeño perro, bajo y veloz, no es usado como los pastores escoceses para custodiar a las ovejas, sino para agrupar el rebaño. Tiene por costumbre morder el corvejón de los miembros del rebaño que comienzan a vagar o a retrasarse. Los perros pastores alemanes y los doberman son a menudo empleados como perros policía y de defensa. Estos perros, en general afectuosos con sus dueños, pueden ser feroces con los extraños y con los intrusos.

El San Bernardo, de elevada estatura y constitución corpulenta, es la raza canina más grande. Debe su nombre al hospicio de San Bernardo, un monasterio de los Alpes suizos donde se dice que Barry, el perro del hospicio, salvó la vida, él sólo, a 50 escaladores y montañeros.

Los perros de tiro han inspirado siempre una gran admiración y es probable que sin su ayuda no hubiera sido posible la exploración de las regiones polares. Marco Polo debió buena parte de su viaje a través del norte a los perros, que le permitieron atravesar lugares inaccesibles para los caballos. Arthur Treadwell Walden llegó a Alaska durante la primera fiebre del oro, en 1896, y escribió ampliamente sobre la indispensable ayuda proporcionada por sus perros de trineo. Los perros esquimales y siberianos no sólo recorrían los caminos helados y abruptos, sino que eran animales de tiro y extremadamente veloces, siempre que la carga no fuera muy pesada. Estaban además dotados de una resistencia excepcional. Los perros de Alaska y de Groenlandia, que suelen engancharse en grupos de 4, 6 u 8, son capaces de arrastrar un trineo de 1.360 kg. Un grupo de perros libres de carga pueden recorrer más de 800 km en aproximadamente cuatro días.

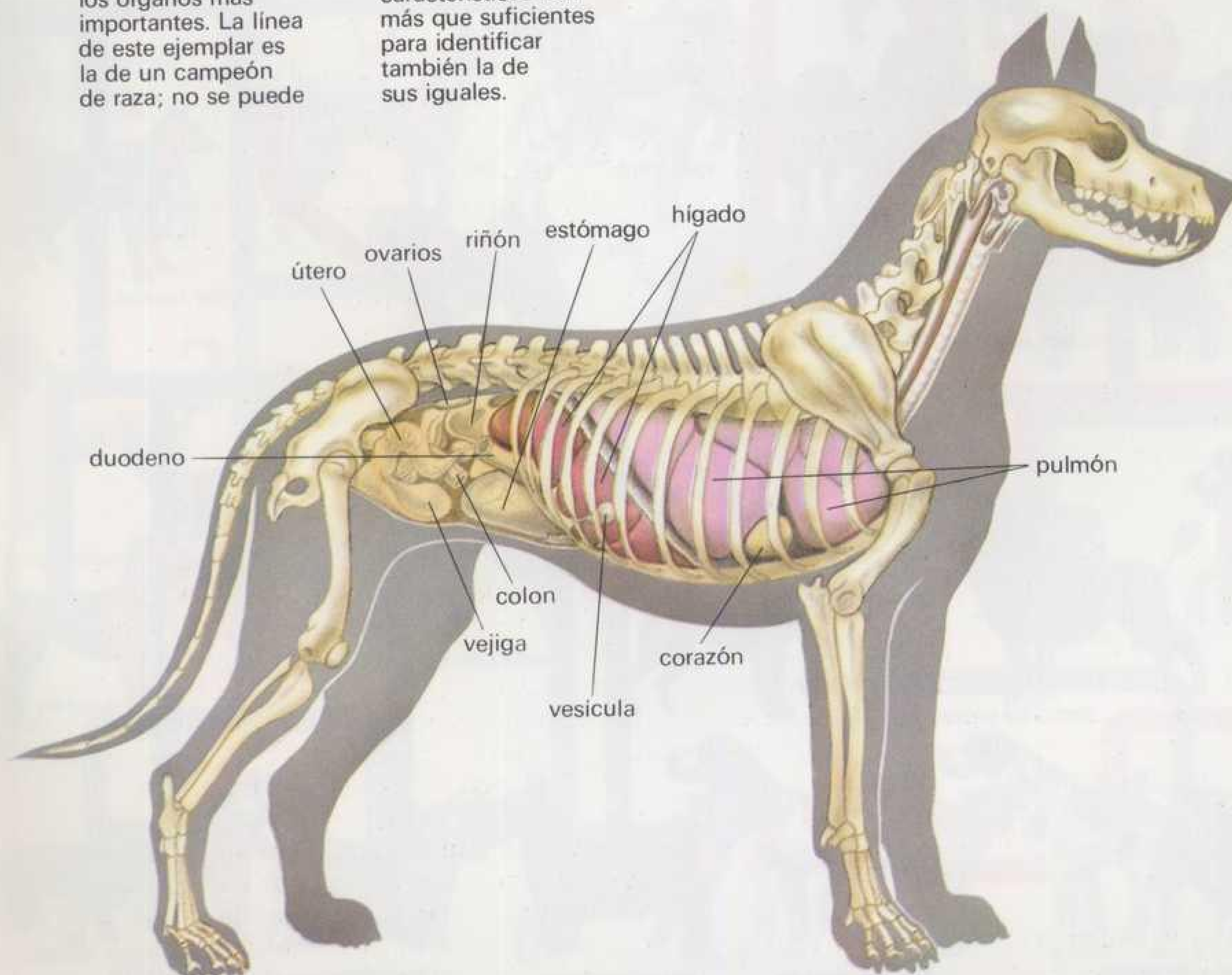


A la izquierda, uno de los ejemplos más significativos de la colaboración del perro con el hombre. Se trata de perros de trineo empleados por los esquimales y que muchos exploradores han usado en sus marchas por el hielo. Estos perros son feroces y deben ser tratados con cuidado; ofrecen la gran ventaja de ser caníbales: es decir, en una larga expedición constituye, en el camino de regreso, un posible alimento para sus compañeros de aventura. En la sociedad esquimal es apreciado también por su abundante pelambre.

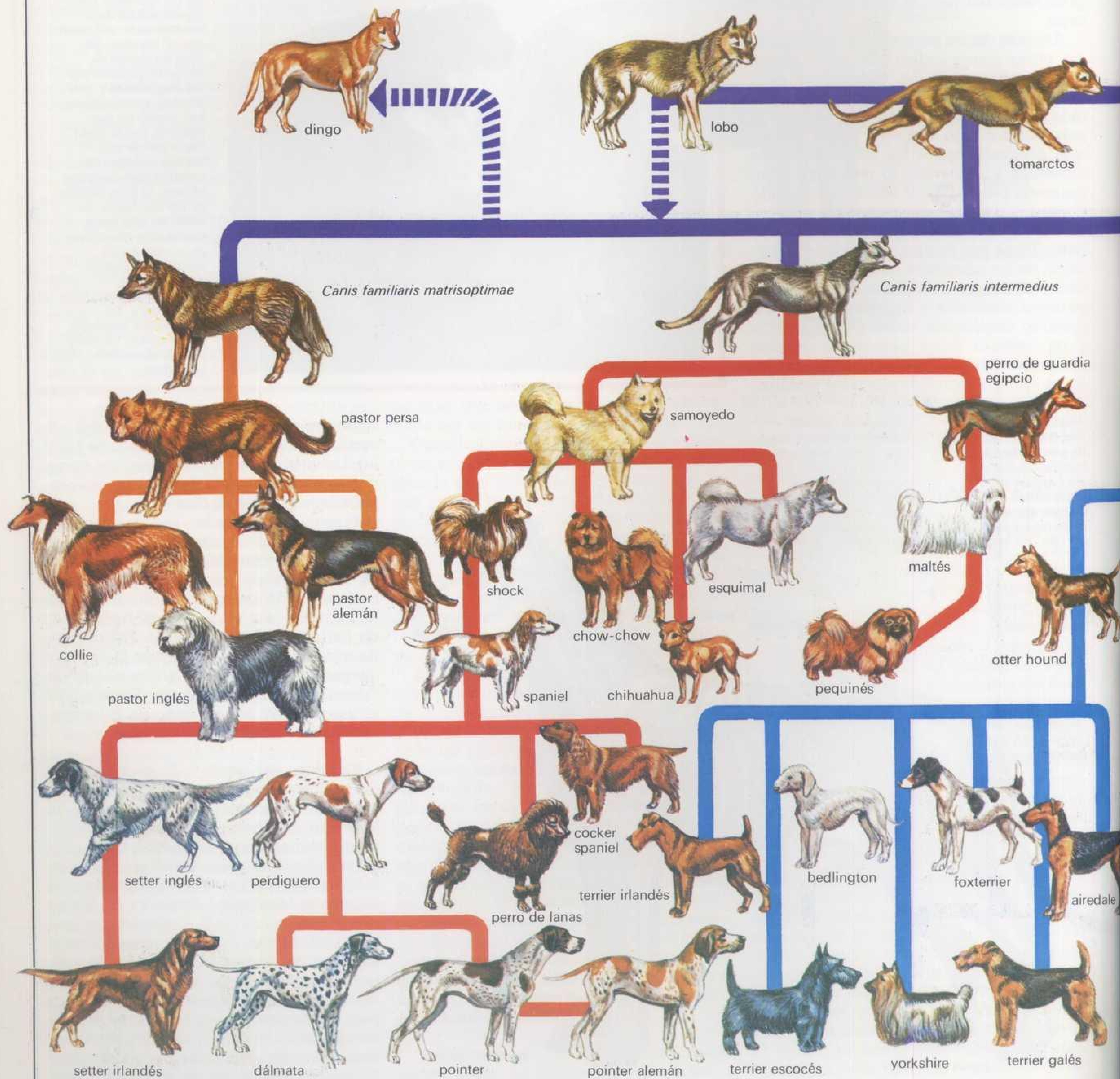
Finalmente, las razas enanas, como el lulú y el pequinés, han sido criadas para ser perros de compañía, aunque proceden de razas que en principio estaban destinadas a un fin completamente distinto. El lulú es una raza muy antigua, como puede deducirse por su aspecto, que recuerda a los perros más primitivos. Comprende numerosas subrazas, como el lulú de Pomerania y el lulú gigante. El pequinés es una raza de origen chino de color crema, blanco o canela.

Carácter del perro El perro es, sin duda, entre todos los animales el más fiel al hombre. Sus apreciables cualidades de fidelidad, inteligencia y adiestrabilidad hicieron del perro el candidato ideal para guiar a los soldados invidentes al final de la II Guerra Mundial. En 1946, en el Roscoe B. Jackson Memorial Laboratory de Maine (EE UU), la psicóloga C. Pfaffenberger, junto a J. Paul Scott, inició estudios sobre el carácter de los perros, con el fin de averiguar las razones por las que algunos perros no podían ser adiestrados como guías para los invidentes. Los resultados de esta investigación revelaron muchos datos con respecto a las diferentes pautas de comportamiento y formas de modificar la ac-

Anatomía ósea de una perra: un ejemplar de perra loba. Aparece también el perfil de los órganos más importantes. La línea de este ejemplar es la de un campeón de raza; no se puede pretender que sea idéntica en todos los ejemplares, pero salvo el caso de cruce, estas características son más que suficientes para identificar también la de sus iguales.



titud y el carácter canino. En el Jackson Laboratory los perros crecieron en diversos ambientes. En uno, los perros y sus cachorros fueron cuidados regularmente por un grupo, siempre el mismo, de personas. El lugar donde se encontraban era soleado, se les hablaba a menudo y eran mimados. En otro ambiente, los perros con sus cachorros vivían en un campo y eran observados con prismáticos desde una pequeña cabaña construida entre las ramas de un árbol. Tenían contacto únicamente con la persona que les llevaba el alimento y el agua, quien, por otra parte, jamás les acariciaba o hablaba. Los cachorros que crecieron en el segundo tipo de ambiente mostraron, posteriormente, una actitud hostil y recelosa en su relación con las personas. Además, los cachorros separados de sus madres y hermanos antes de cumplir las siete semanas, aún aquellos que habían tenido relación con las personas, se revelaron. Se descubrió así que todos los cachorros deberían permanecer con sus madres hasta cumplir, al menos, las siete semanas. El momento más crítico para la integración social se sitúa entre las tres y las dieciséis semanas de vida. Los perros que no son atendidos hasta el final de este período raramente pueden convertirse en perros de compañía y nunca en perros de guía. Pfaffenberger y Scott observaron que los cachorros premiados regularmente por los progresos obtenidos durante su adiestramiento eran capaces luego de tomar decisiones, como por ejemplo, cuándo cruzar la calle. A su vez, casi todos aquellos perros a los que se les negaba arbitrariamente la recompensa no



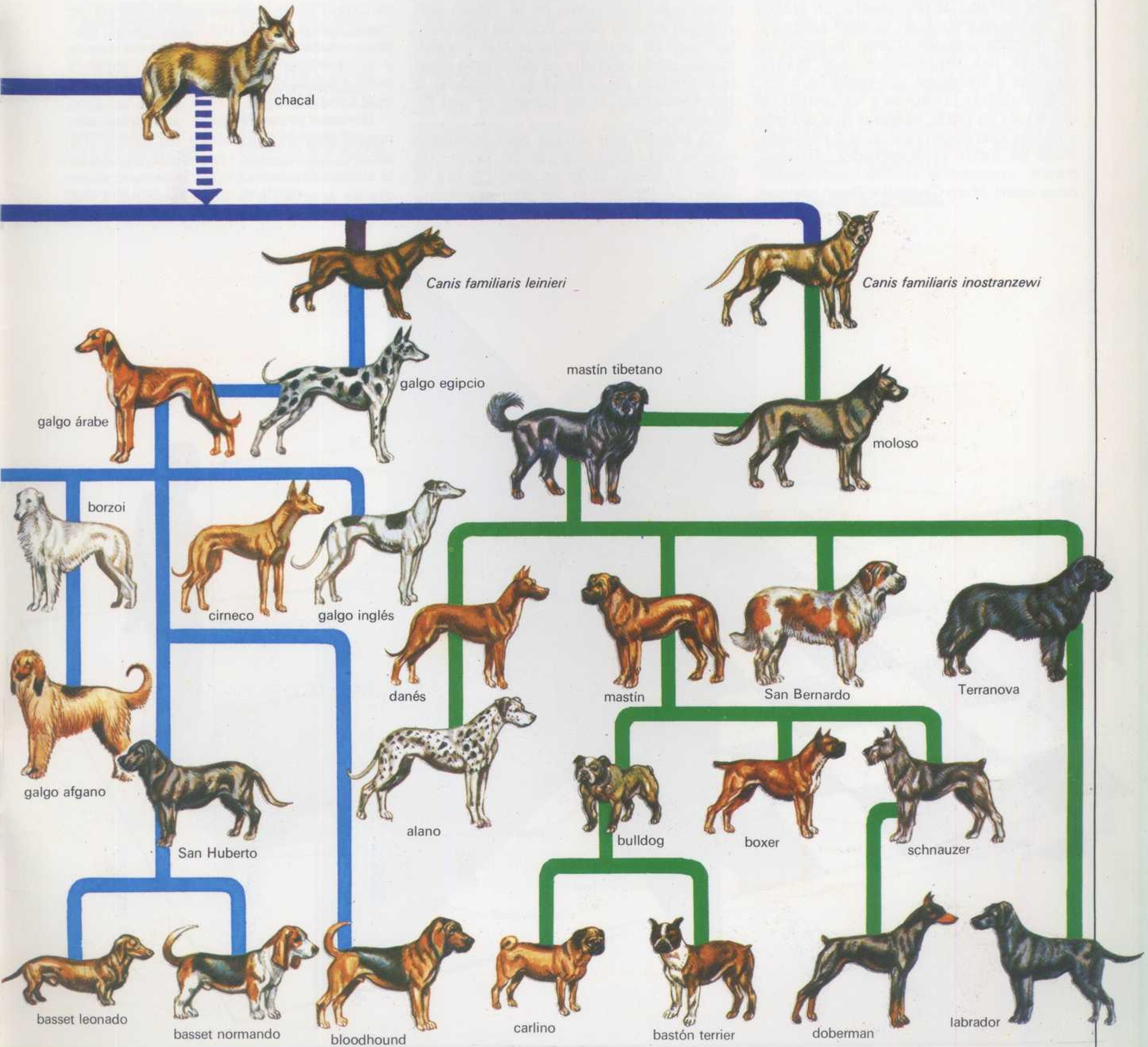
aprendían nunca a asumir responsabilidades. Se descubrió también que la integración social produce efectos duraderos en los perros que son adiestrados como perros guía. Los cachorros llevados a casa dentro de la semana posterior al adiestramiento revelaron buenos logros en un 90%, mientras que aquéllos llevados después de tres semanas dieron buenos resultados sólo en un 30%.

Hoy en día la gran mayoría de los perros guía son criados de manera especial. Se ha descubierto que tanto el comportamiento como los rasgos físicos son hereditarios. Sin embargo, el ambiente puede reforzar o moderar estos caracteres.

El perro puede ser sin duda el mejor amigo del hombre, pues también los estudios demuestran que los perros encuentran óptimos amigos en las personas y crecen mejor en su compañía. Además, exceptuando algunos casos, parece ser que los cachorros son más vivaces si crecen junto a los niños.

Véase **Rabia; Vertebrados**

La genealogía completa de los perros, de la cual se presenta aquí una buena parte, no es bien conocida, al menos en lo que concierne al origen lejano, que se remonta a los tiempos de la domesticación que, según se cree, se produjo en tiempos prehistóricos. Es característica de todas las razas caninas su elevada sociabilidad. El cuadro pone en evidencia la enorme variedad que hoy existe por los cruces realizados en muchas partes del mundo. Sin embargo, no se ha agotado la posibilidad de obtener nuevas variedades. Desgraciadamente, muchas características de las variedades que se han creado han dado como resultado la obtención de un animal delicado, con salud precaria.



Perspectiva

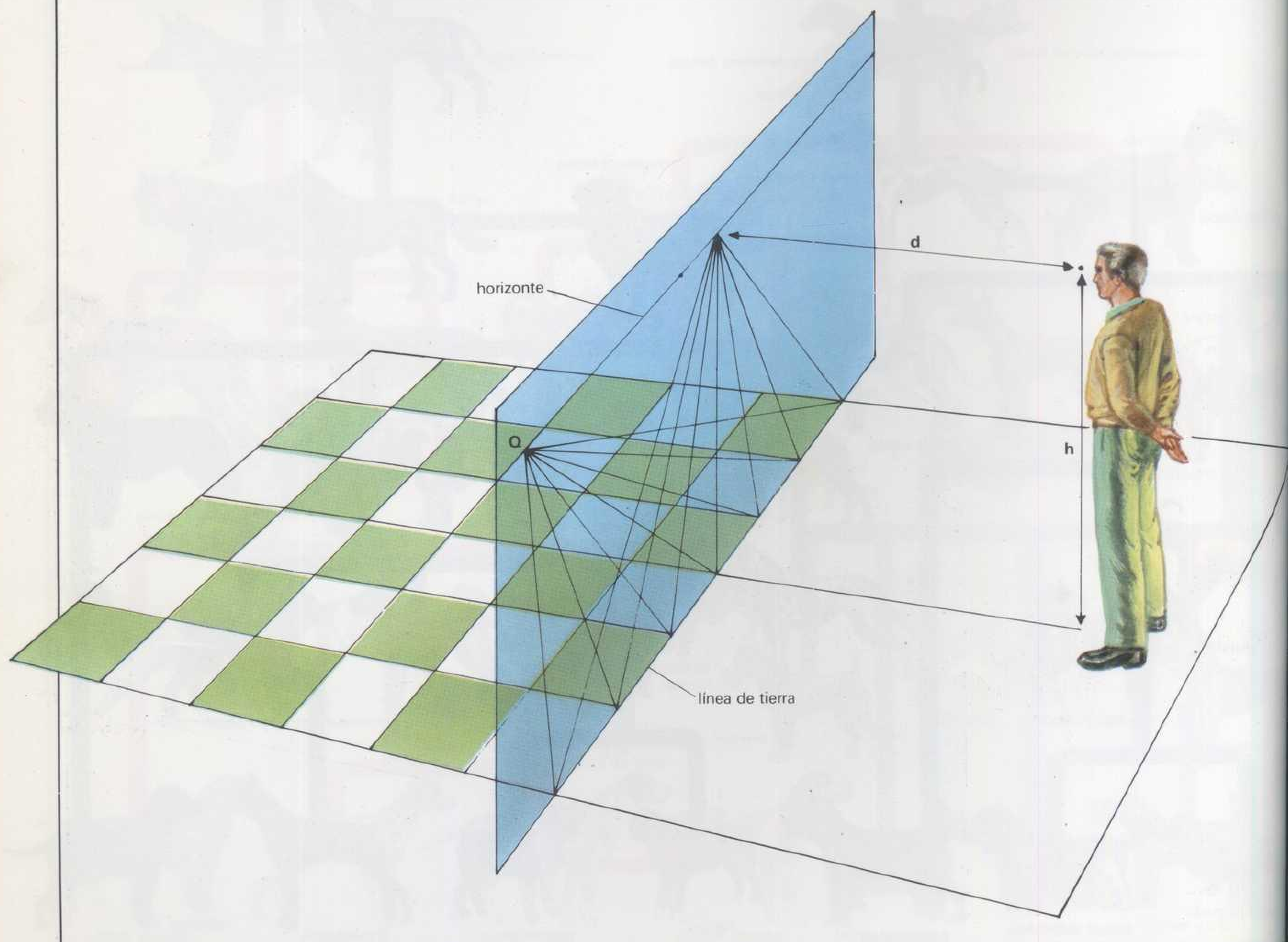
Cuando los niños dibujan no representan el objeto tal como lo vería un observador desde un determinado punto de vista, sino más bien como ellos lo conocen, desde muchos puntos de vista. Pueden representar a la vez la fachada y la parte posterior de una casa o el árbol favorito sobre el que trepan, de tal forma que parezca mucho más alto de lo que es. La intención del niño no es la de obtener una representación realista, sino la de permitir al observador reconocer el objeto; por lo tanto, los distintos elementos del dibujo pueden estar representados independientemente el uno del otro, dando la impresión de estar contenidos en un pequeño espacio detrás del plano del dibujo.

Este método de representación gráfica de los objetos también ha sido adoptado por muchos grandes artistas de todos los tiempos. Las representaciones mayas, egipcias y cretenses, por ejemplo, a menudo muestran la cabeza y las piernas de una figura de perfil, mientras que el busto y un ojo aparecen como si la figura estuviese de frente al observador. Análogamente, conocidos artistas contemporáneos, como Marc Chagall y Henri Matisse, han representado en sus cuadros los objetos de forma voluntariamente plana e "irrealista".

Puntos de fuga En contraste con estos métodos de representación, la perspectiva es un método congruente de representación de espacios tridimensionales sobre un plano (o relieve). Matemáticamente, una perspectiva es cualquier representación en la que a cada punto del objeto visible desde una determinada posición le corresponde otro punto en el plano del dibujo, de forma tal que todos los puntos del dibujo ocupen entre ellos posiciones relativas directamente relacionadas con las posiciones que ocupan los correspondientes puntos en el objeto real. Aunque existen varios tipos de representaciones en perspectiva, la más comúnmente usada es la que se utiliza para crear la impresión de profundidad mediante la representación de los objetos en tres dimensiones.

El método más simple para conseguir esto se basa en la elección de "puntos de fuga": el artista elige un punto sobre el lienzo (normalmente cercano al centro). Entonces construye una escala ficticia considerando, por ejemplo, que un objeto situado en el primer plano de la escena, que tiene un metro de altura, se representa sobre el lienzo con una altura de 10 centímetros. Una vez hecho esto, con un bolígrafo o lapicero, el artista traza dos rectas desde las extremidades superior e inferior del objeto hasta el punto que representa el punto de fuga en el horizonte del campo de visión del observador. De este modo, si el artista desea representar un segundo objeto, idéntico al primero, pero desplazado un poco más allá, deberá darle solamente una altura igual a la distancia vertical entre las dos líneas, en el punto en que está situado este segundo objeto. Como las dos líneas convergen en un punto sobre la línea del horizonte del fondo, su distancia a dicho punto será menor y el objeto ocupará también un espacio menor sobre el lienzo: parecerá que está más lejos.

Si este procedimiento se repite sistemáticamente para todos los puntos del dibujo, los objetos representados darán la sensación de empequeñecerse conforme se acercan a la línea imaginaria del



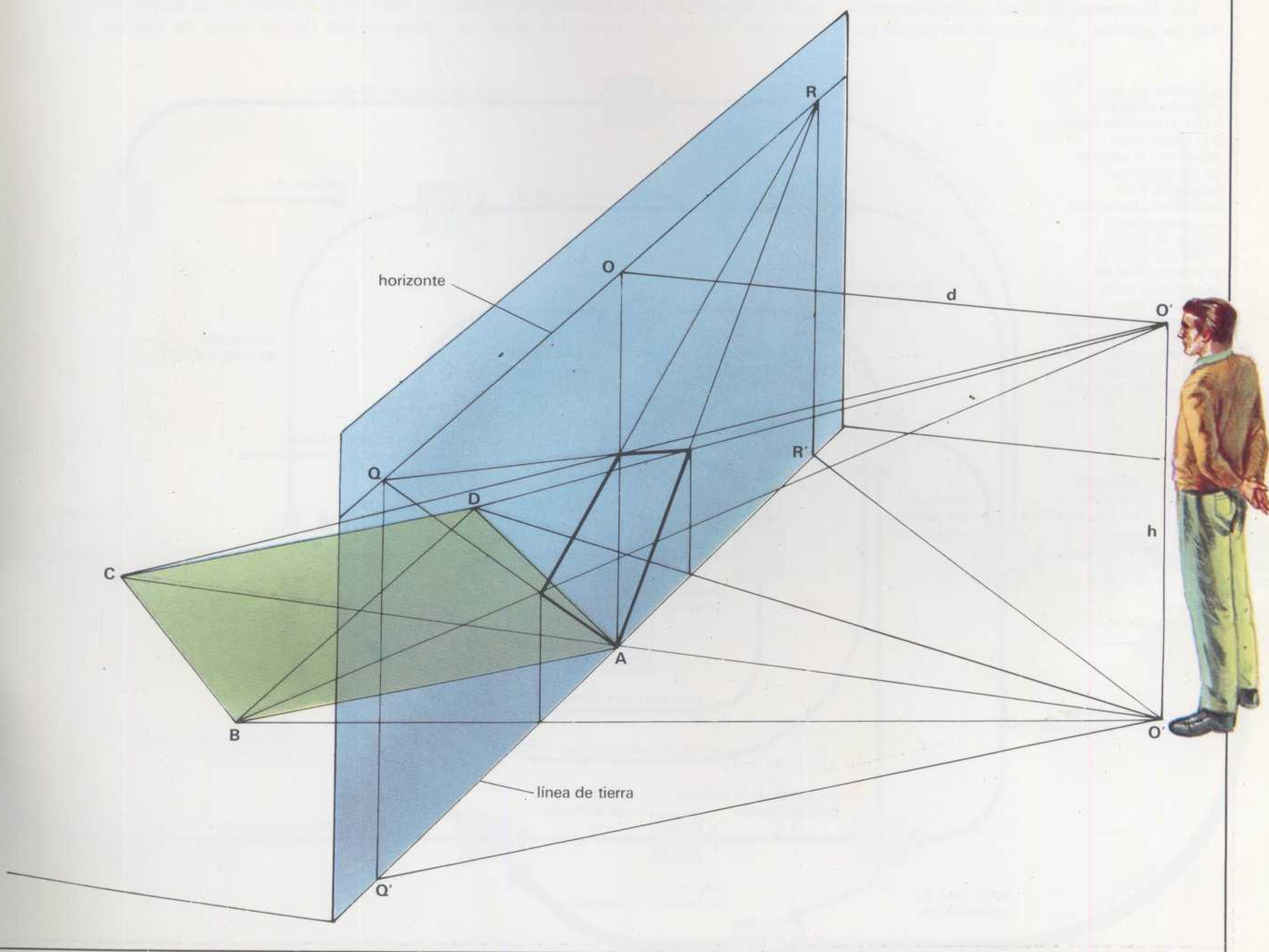
Debajo, el principio del dibujo en perspectiva. Un observador de altura *h* y situado a una distancia *d* del plano vertical en el que debe dibujarse la figura observa el objeto que debe reproducirse. En este caso el objeto es el suelo enlosado. La recta de intersección del plano del dibujo con el del suelo se llama línea de tierra. Sobre ella tenemos otra recta, a una altura *h* y paralela a la anterior: la línea de horizonte. En la intersección con la perpendicular desde el ojo del observador se encuentra el punto O', llamado punto principal de la perspectiva. Con él se pueden empezar a dibujar los lados perpendiculares al plano del dibujo. Los otros exigen primero que se tracen los puntos de fuga Q y R de las diagonales. Mientras el tipo de representación en perspectiva de la página anterior se llama "central" y es relativamente sencillo, hay un caso un poco más complicado que es el de la perspectiva llamada "accidental", ilustrado debajo. Aquí, los planos más importantes están colocados como antes, pero los lados del cuadrado no son paralelos ni a la línea de tierra ni a la del horizonte. Desde los pies del observador, en O', se trazan las paralelas a los lados AB y AD del cuadrado dibujado sobre el plano de tierra. Estas son O'Q' y O'R' y los dos puntos Q' y R' están debajo de Q y R sobre la línea de horizonte. Hallados estos dos puntos de fuga es fácil construir después las demás líneas del dibujo.

horizonte, al nivel del ojo del observador. Esta reducción en las dimensiones de los objetos, al acercarse éstos al punto de fuga, se conoce con el nombre de *convergencia*. Uno de los ejemplos más famosos de este tipo de perspectiva lo tenemos en la obra de Leonardo da Vinci, la Ultima Cena, en la que el punto de fuga está situado precisamente detrás de la cabeza de Cristo, dando la impresión de que todos los elementos del fresco convergen hacia él.

Otros tipos de perspectiva Leonardo da Vinci adoptó, en la *Ultima Cena*, el tipo más clásico de perspectiva con punto de fuga. Conocida como *perspectiva central*, o de *punto único de fuga*, ésta presenta el inconveniente de forzar a veces al observador a un artificio técnico. Un tipo de perspectiva más evolucionado, la denominada *perspectiva angulada* u *oblicua*, utiliza dos puntos de fuga. Ambos tipos de perspectiva, la central y la oblicua, se definen como *perspectiva lineal*, que constituyó la técnica predominante en la pintura occidental desde su origen, en el siglo XV, hasta la segunda mitad del siglo XIX.

Un tipo completamente distinto de representación en perspectiva fue desarrollado por el mismo Leonardo, quien se basó en la observación de que los contornos y el contraste cromático son más nítidos cuanto más cercano está el objeto. Dibujando los objetos con contornos difusos y con contrastes cromáticos muy suaves, Leonardo logró hacerlos parecer más lejanos que aquéllos con contornos bien definidos y colores fuertemente contrastados. Además, perfeccionó esta técnica con la utilización de un ligero tono frío en las partes del cuadro que deseaba resultasen más lejanas, con lo cual las "alejaba" aún más del observador. Este uso del color, conocido como *difuminado*, constituye un tipo de *perspectiva de efecto óptico-atmosférico*. Actualmente la utilización de las perspectivas atmosférica y lineal en las artes figurativas es menor que en épocas pasadas, debido en parte a las nuevas concepciones pictóricas del arte actual. Sin embargo, la perspectiva lineal es aún muy útil para los arquitectos, ingenieros, diseñadores y paisajistas.

Véase **Dibujo; Dibujo técnico**



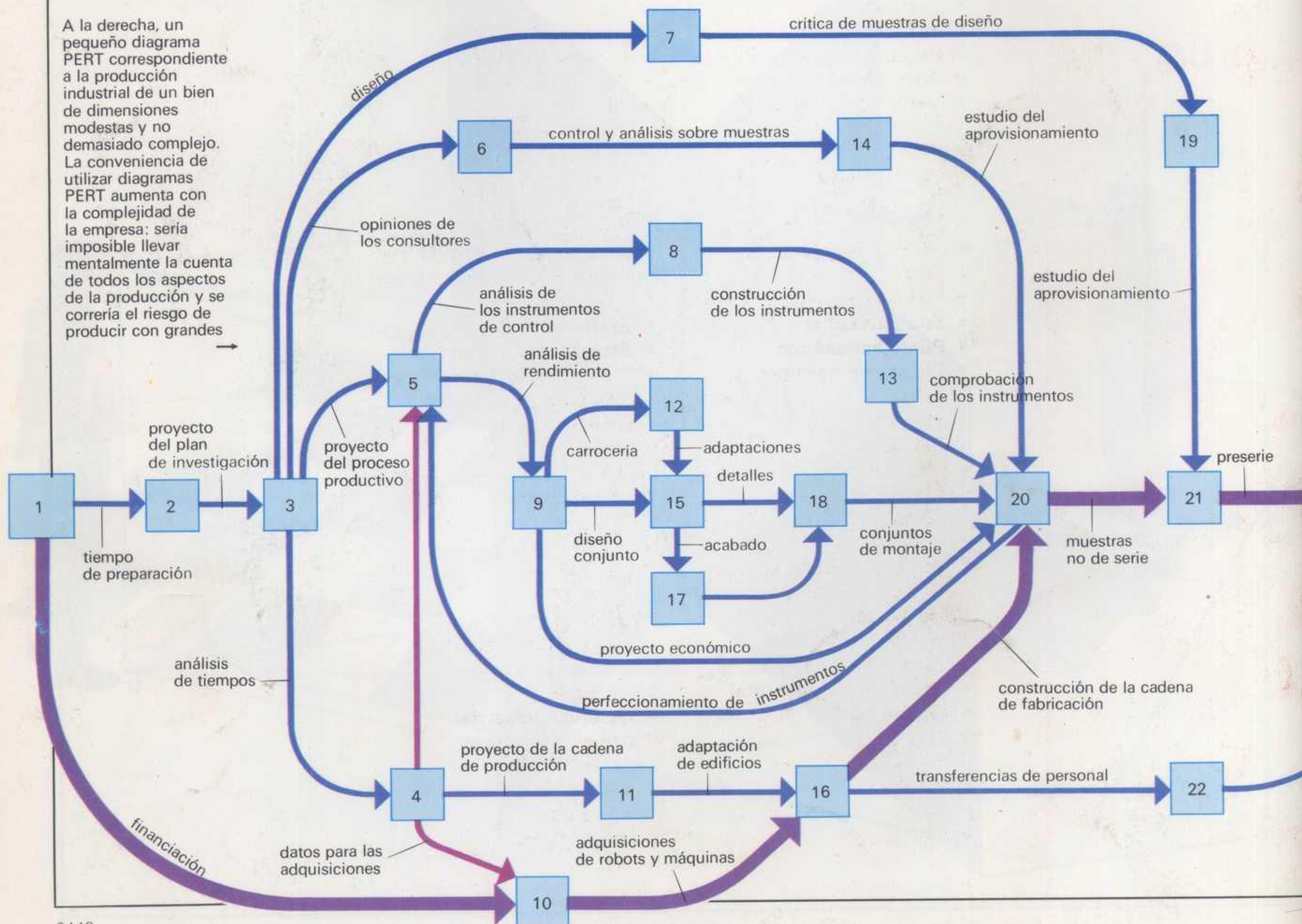
PERT

En las décadas siguientes a la II Guerra Mundial se ha producido una enorme expansión de nuevas tecnologías y modernos sistemas. Se han desarrollado vehículos espaciales, sistemas armamentísticos, ingenios electrónicos y experimentos científicos de una importancia y un nivel de sofisticación que ha superado ampliamente todas las realizaciones anteriores. La creciente complejidad de los trabajos de ingeniería ha favorecido también el desarrollo del aspecto humano y social de estas realizaciones, es decir, las técnicas de gestión de las personas y medios que llevan a cabo los programas a través de sus distintas fases de realización. Una de las primeras técnicas de este tipo que se desarrolló fue el PERT, iniciales de *Program Evaluation and Review Techniques*, primer método de gestión especialmente pensado para la asistencia, planificación y programación de proyectos grandes y complejos. Estos proyectos se han podido realizar gracias a la aplicación de este método, ya que sin técnicas de gestión los proyectos complejos se desarrollarían de una forma mucho menos eficaz y quizá ni siquiera fueran posibles.

Los diagramas de Gantt: primeros métodos de gestión La gestión, en pocas palabras, es la capacidad de una organización para llevar a cabo un programa, o una serie de programas, de la forma más eficaz posible. El encargado de gestionar un proyecto tiene que programar su evolución e inspeccionar su ejecución, distribuyendo entre grupos de personas cualificadas la ejecución de los programas. Además, tiene que comprobar periódicamente el programa y controlar el rendimiento laboral durante el desarrollo del mismo.

En pequeños proyectos la gestión puede ser simple. Por ejemplo, para construir una embarcación de vela, determinadas operaciones se tienen que realizar secuencialmente. El casco tiene que estar completo antes de poder empezar los trabajos en la cubierta. A su vez ésta última tiene que estar acabada antes de instalar el árbol y otros aparejos, como los cabrestantes. Su instalación es a su vez indispensable para la posterior preparación de las jarcias. No sólo es necesaria una cierta programación del trabajo, sino que se tiene que prever la ocupación de las máquinas herramienta necesarias en el corte de la madera y en la elaboración de las partes metálicas. Si existe una fecha límite para la botadura de la embarcación, es necesario comprobar periódicamente si se cumplen los plazos previstos para su construcción. Por ejemplo, supongamos que tenemos a nuestra disposición dos máquinas herramienta para este trabajo hipotético: la máquina A para cortar y trabajar la madera y la máquina B para todos los trabajos de piezas metálicas. Obviamente sería poco eficiente hacer funcionar la máquina A hasta haber cortado todas las partes de madera y utilizar después la B para obtener todas las partes metálicas; es preferible utilizar ambas al mismo tiempo. Además, la persona que gestione el proyecto puede subdividir las fases de trabajo de las máquinas en varios ciclos, y hacerlos coincidir para obtener un nivel de productividad mayor. Por ejemplo, la máquina A podría cortar primero sólo los elementos de madera del armazón del casco, mientras que la B podría realizar los trabajos de piezas de soporte del motor. Mientras los equipos de trabajo empiezan el montaje de estas partes, la máquina A cortaría las partes de madera de la cubierta y puentes, y la B realizaría las partes metálicas que se montan primero, como el árbol y los mandos de control. Finalmente, la máquina A puede volver al trabajo de elementos de madera del casco y la B al acabado de la parte del motor.

Este simple ejemplo de división y superposición de las fases de trabajo nos



A la derecha, un pequeño diagrama PERT correspondiente a la producción industrial de un bien de dimensiones modestas y no demasiado complejo. La conveniencia de utilizar diagramas PERT aumenta con la complejidad de la empresa: sería imposible llevar mentalmente la cuenta de todos los aspectos de la producción y se correría el riesgo de producir con grandes →

muestra un método para completar los trabajos de la forma más eficaz. Este método fue descrito y traducido en diagramas por el ingeniero industrial estadounidense Henry L. Gantt, antes de la I Guerra Mundial. Los diagramas de Gantt se utilizan todavía para estimar gráficamente la relación entre tiempos previstos y tiempos reales en la producción.

PERT: la era de la ingeniería total Los métodos simples de gestión como el de Gantt no son aptos para los grandes proyectos de ingeniería nacidos en la segunda mitad del siglo XX, por lo que ha sido necesario desarrollar nuevas técnicas.

La Marina estadounidense afrontó este problema en 1958 cuando empezó a desarrollar el sistema de misiles Polaris. Los programadores del proyecto se encontraron con el problema de tener que organizar de la manera más eficaz posible a más de 11.000 contratistas, muchos de ellos con capacidades de programación en el tiempo poco fiables. El desarrollo de una técnica de gestión apta para la envergadura y complejidad del programa Polaris se confió a un grupo de investigadores y el resultado fue la creación del método PERT, cuya utilización se extendió rápidamente tanto en las industrias militar y espacial como en las grandes empresas privadas. Posteriormente este sistema se modificó y se le incorporó un método análogo, conocido como método del camino crítico o CPM (*Critical Path Method*).

En el método PERT todas las fases del proyecto se representan gráficamente para analizar sus relaciones. En el gráfico están representadas tanto las etapas del programa como las operaciones y recursos necesarios para pasar de una etapa a la siguiente. Se determina el "camino crítico" del programa, que está formado por la secuencia de actividades y fases que necesitan la mayor cantidad de tiempo y que, en consecuencia, pueden bloquear el proyecto entero —si se aplazan— o lo pueden hacer avanzar más rápidamente —si se aceleran—. La estimación del tiempo necesario para completar cada una de las fases puede ser de tres tipos: optimista, realista y pesimista. Basándose en estas tres estimaciones se puede usar un ordenador para determinar las fases más críticas del programa, los tiempos muertos presentes en algunas fases y otras informaciones útiles para la gestión.

Existen muchos tipos de sistemas PERT: algunos consideran únicamente los tiempos mientras que otros (PERT-costes) incluyen también estimaciones de costes. El PERT permite a quien esté encargado de la gestión programar y prever los vencimientos de proyectos muy complejos de forma sistemática.

Los métodos PERT y CPM representan los ejemplos más conocidos de aplicación de la denominada Teoría de Grafos o de Redes, conocida disciplina de la Investigación operativa que se apoya en ideas de la Teoría de Conjuntos y de la Topología combinatoria, y que tiene múltiples aplicaciones (desde la Sociología a los circuitos eléctricos, pasando por la Geometría, la programación matemática, la ingeniería de sistemas de transportes y comunicaciones, etc.). Un grafo o red es, en esencia, un conjunto de *vértices* unidos por *arcos*, usualmente orientados. En las aplicaciones, los vértices pueden, por ejemplo, representar acontecimientos o etapas, y los arcos actividades.

Véase **Investigación operativa**



→ retrasos y, en consecuencia, incurrir en un aumento de los costes. En la figura se han indicado las distintas etapas y se ha destacado el camino crítico. A la derecha, en esta página, la tabla que traduce a números el diagrama PERT y que está pensada para poder ser almacenada en un ordenador con el fin de gestionar automáticamente los tiempos y el estado de los trabajos. Con la →

→ ayuda del diagrama se puede usar esta tabla para obtener sugerencias sobre cómo aplazar los tiempos de comienzo de actividades y las duraciones en las que se puede intervenir para recuperar las pérdidas de tiempo y poder así terminar el trabajo en la fecha establecida.

actividad	duración estimada			duración calculada	estado	fecha mínima				fecha máxima				desplazamiento en días	
						principio		final		principio		final			
i, j	tiempo mínimo	tiempo medio	tiempo máximo			día	mes	día	mes	día	mes	día	mes	total	libre
1, 2	0,	0,	0	0	–										0
1, 10	30,	40,	60	41	crítico	23	4	3	23	6	4	3		0	0
2, 3	3,	3,	3	3		23	4	26	5	4	5	8		12	0
3, 4	15,	25,	40	26		26	4	22	8	5	5	3		12	0
3, 5	5,	5,	5	5		26	4	1	12	5	6	17		47	21
3, 6	60,	90,	120	90		26	4	25	19	7	5	17		23	0
3, 7	10,	15,	30	17		26	4	13	2	5	9	19		129	0
4, 5	0,	0,	0	0										0	0
4, 10	0,	0,	0	0										0	0
4, 11	3,	3,	3	3		22	5	25	1	5	9	4		102	0
5, 8	10,	15,	25	16		22	5	7	17	6	6	3		26	0
5, 9	10,	15,	25	16		22	5	7	22	6	6	8		31	0
5, 20	80,	90,	120	93		22	5	23	17	8	7	18		56	56
6, 1	20,	30,	45	31		25	7	25	17	8	8	17		23	0
7, 19	15,	20,	40	22		13	5	4	19	6	9	11		129	0
8, 13	10,	20,	30	20		7	6	27	3	6	7	23		26	0
9, 12	5,	10,	20	11		7	6	18	13	6	7	24		36	0
9, 15	10,	15,	25	16		7	6	23	8	6	7	24		31	0
9, 20	30,	40,	60	41		7	6	18	7	7	9	18		92	92
10, 16	90,	120,	150	120	crítico	3	6	1	3	10	6	1		0	0
11, 16	15,	25,	45	27		25	5	21	4	6	9	1		102	102
12, 15	0,	0,	0	0										0	0
13, 20	45,	90,	120	87		27	6	22	23	9	7	18		26	26
14, 20	20,	30,	45	31		25	6	25	17	9	9	18		23	23
15, 17	0,	0,	0	0										0	0
15, 18	5,	10,	20	11		23	6	4	25	7	8	5		63	32
16, 20	10,	15,	30	17	crítico	1	10	18	1	10	10	18		0	0
16, 22	4,	4,	4	4		1	10	5	13	10	11	17		43	0
17, 18	20,	45,	60	43		23	6	5	24	8	7	5		31	0
18, 20	20,	45,	60	43		5	8	17	5	9	9	18		31	31
19, 21	30,	40,	50	40		4	6	14	11	7	10	20		129	129
20, 21	20,	30,	60	33	crítico	18	20	20	18	1	10	20		0	0
21, 23	10,	15,	20	15	crítico	20	11	5	20	12	11	5		0	0
22, 24	15,	20,	30			5	10	26	17	10	11	8		43	43
23, 24	3,	3,	3	3	crítico	5	12	8	5	12	12	8		0	0

Pesca y piscicultura

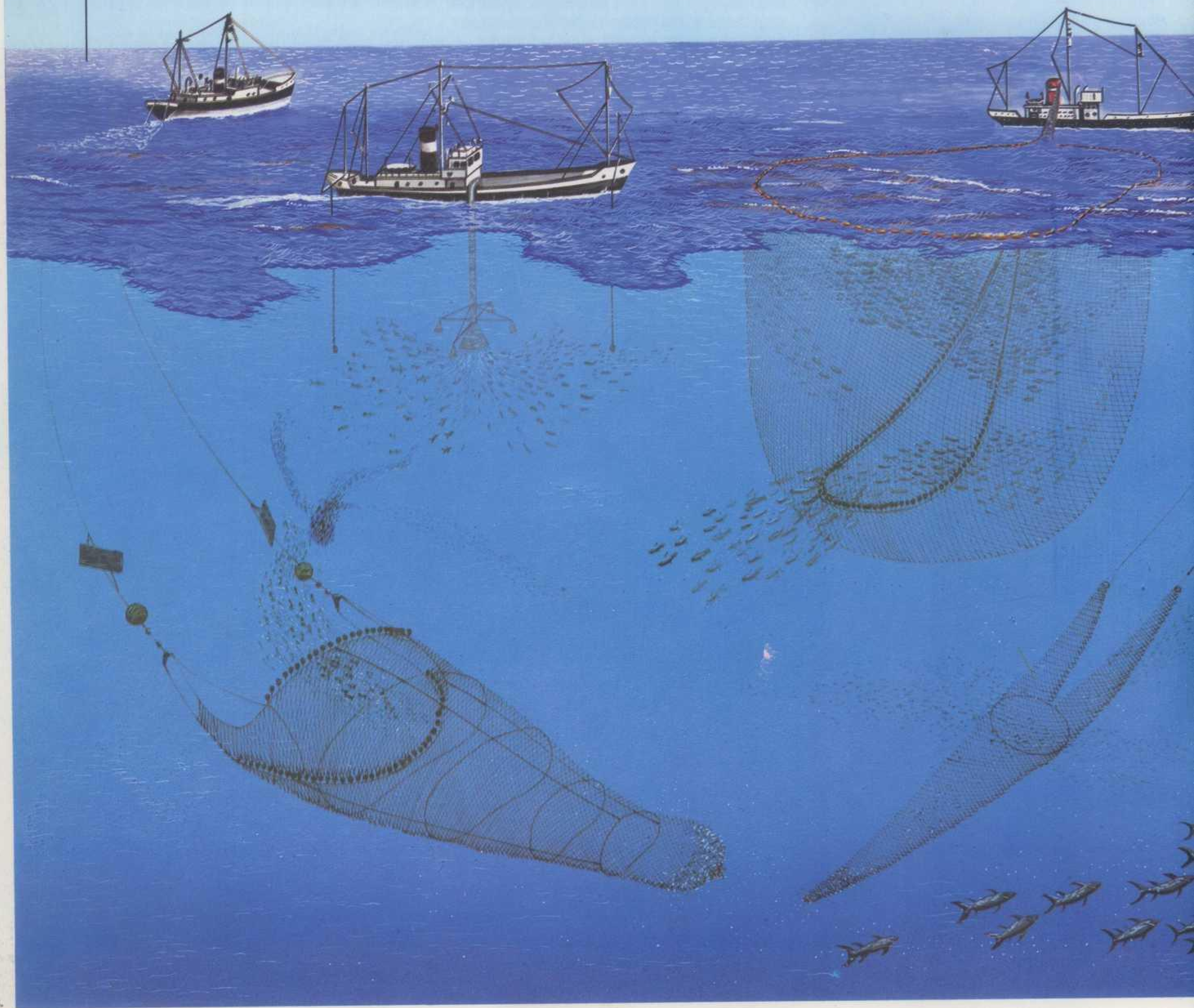
En la dieta del hombre el pescado ha constituido un elemento básico, pues le ha suministrado gran parte de las proteínas que ha necesitado a lo largo de más de un millón de años de evolución. La pesca, iniciada en épocas prehistóricas, ha pasado del simple acto de lanzar un sedal o una red a convertirse en una industria multinacional, elemento fundamental de algunas economías, que da empleo a millones de personas en todo el mundo, con un enorme volumen de facturación.

La pesca es una actividad que abarca tanto los peces marinos y de agua dulce como los crustáceos, moluscos y mamíferos marinos.

Actualmente, el mayor o menor grado de consumo de pescado en los distintos países está en relación con causas de orden geográfico, como es la cercanía de áreas ricas en pesca, y causas de tipo cultural. Países donde el pescado es un elemento importante en la dieta humana son, por ejemplo, Japón y España; por el contrario, países donde se consume poco pescado son, por ejemplo, Hungría o Bulgaria.

Distribución geográfica de las zonas de pesca Las grandes áreas de la pesca comercial se hallan localizadas en diversas zonas, sobre todo allí donde las corrientes oceánicas se separan o convergen. Ello determina la formación de turbulencias que empujan hacia arriba las aguas frías, ricas en sales minerales, lo que origina altos valores de productividad primaria.

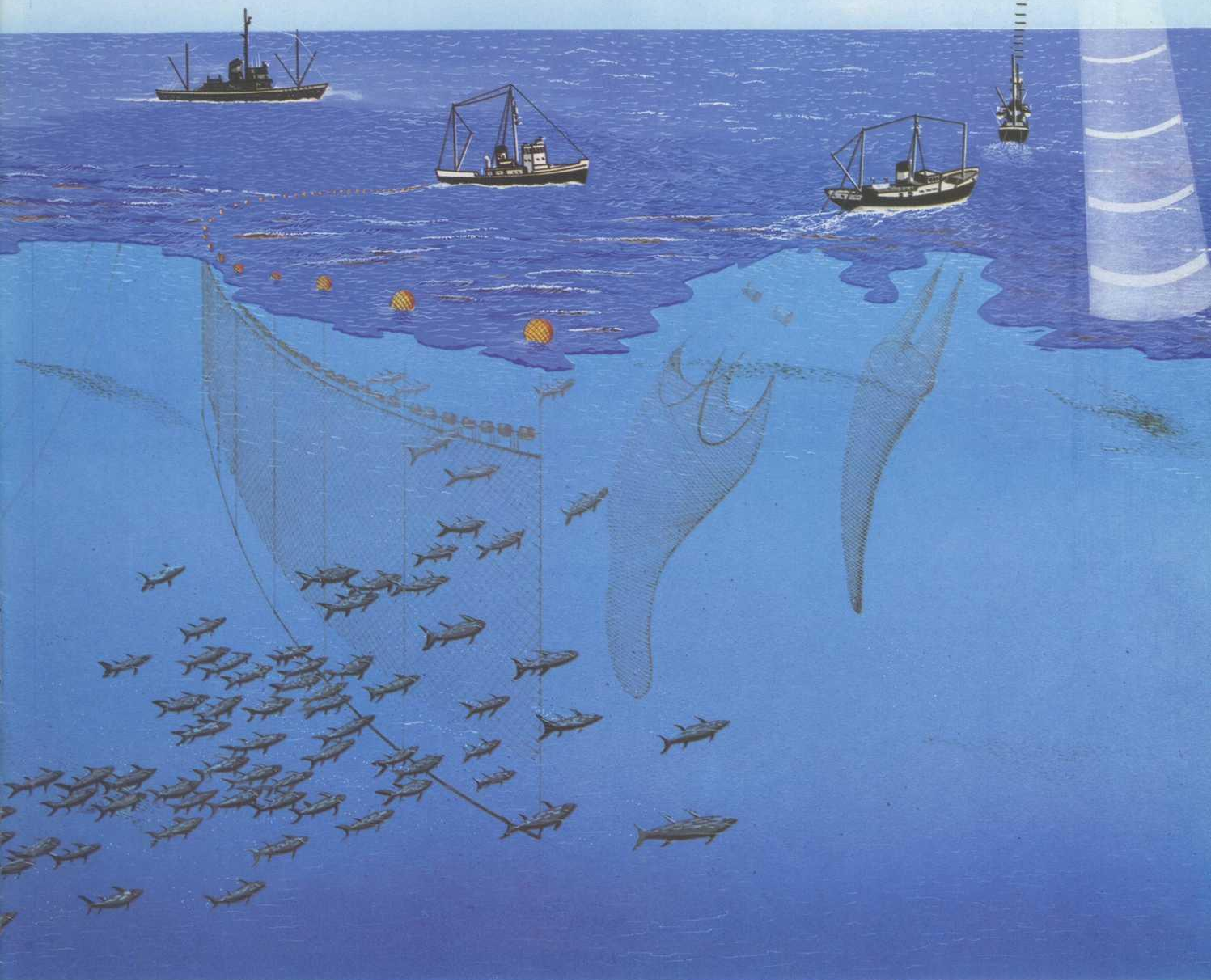
Los bancos de pesca más ricos se encuentran en aguas cuya profundidad no sobrepasa los 350 m. En América del Norte esas áreas comprenden los bancos de Terranova y otras aguas de las costas de las islas Newfoundland, en Nueva Escocia, del este de Estados Unidos y del litoral que se extiende desde las Aleutianas hasta el oeste de Méjico. Hay otras importantes zonas de pesca a lo largo de la costa occidental de América del Sur. En Europa, los principales bancos de pesca se encuentran en aguas de las Islas Británicas, Francia y Portugal, en el mar del Norte y en el mar Báltico. En el Pacífico occidental, en las costas orientales de Asia, las mejores zonas de pesca se encuentran alrededor del Japón, en las costas orientales de Siberia y en los mares de China orien-



tal y meridional. En Africa es famoso el banco sahariano. Al sur del ecuador, las mejores zonas de pesca se encuentran en el mar de Arafura, al norte de Australia, y en el Océano Indico, donde hay excelentes zonas de pesca en el Golfo de Bengala y en las costas meridionales de Africa. No consideramos aquí otras regiones costeras muy extensas en las que la pesca está limitada por el desinterés de la población local o por la falta de los capitales necesarios para su explotación.

Métodos de pesca comercial Los métodos de pesca comercial son muy variados, pero el más corriente consiste en atrapar gran cantidad de peces con una sola red que puede ser arrastrada por un barco relativamente pequeño, como son

La pesca en alta mar se ha convertido en un proceso industrial gracias al uso de técnicas cada vez más sofisticadas. Los antiguos métodos artesanales se han modificado, transformándose en un complejo proceso organizativo que depende de las rígidas leyes del mercado. Las embarcaciones de pesca oceánica, que pueden alcanzar cien metros de largo, llevan a bordo unos aparatos llamados ecosondas con los que se pueden localizar los bancos de peces aunque éstos se encuentren a gran profundidad; asimismo pueden conservar y elaborar el pescado a bordo. En el dibujo podemos ver algunos de los métodos modernos de pesca: de izquierda a derecha, pesca de arrastre, pesca con empleo de una corriente eléctrica (un campo eléctrico, creado por electrodos sumergidos, impulsa a los peces hacia una bomba absorbente), pesca con red de cerco, pesca con boliche, pesca con trasmallo, pesca con red sonda y, finalmente, pesca realizada con ayuda de satélites artificiales.

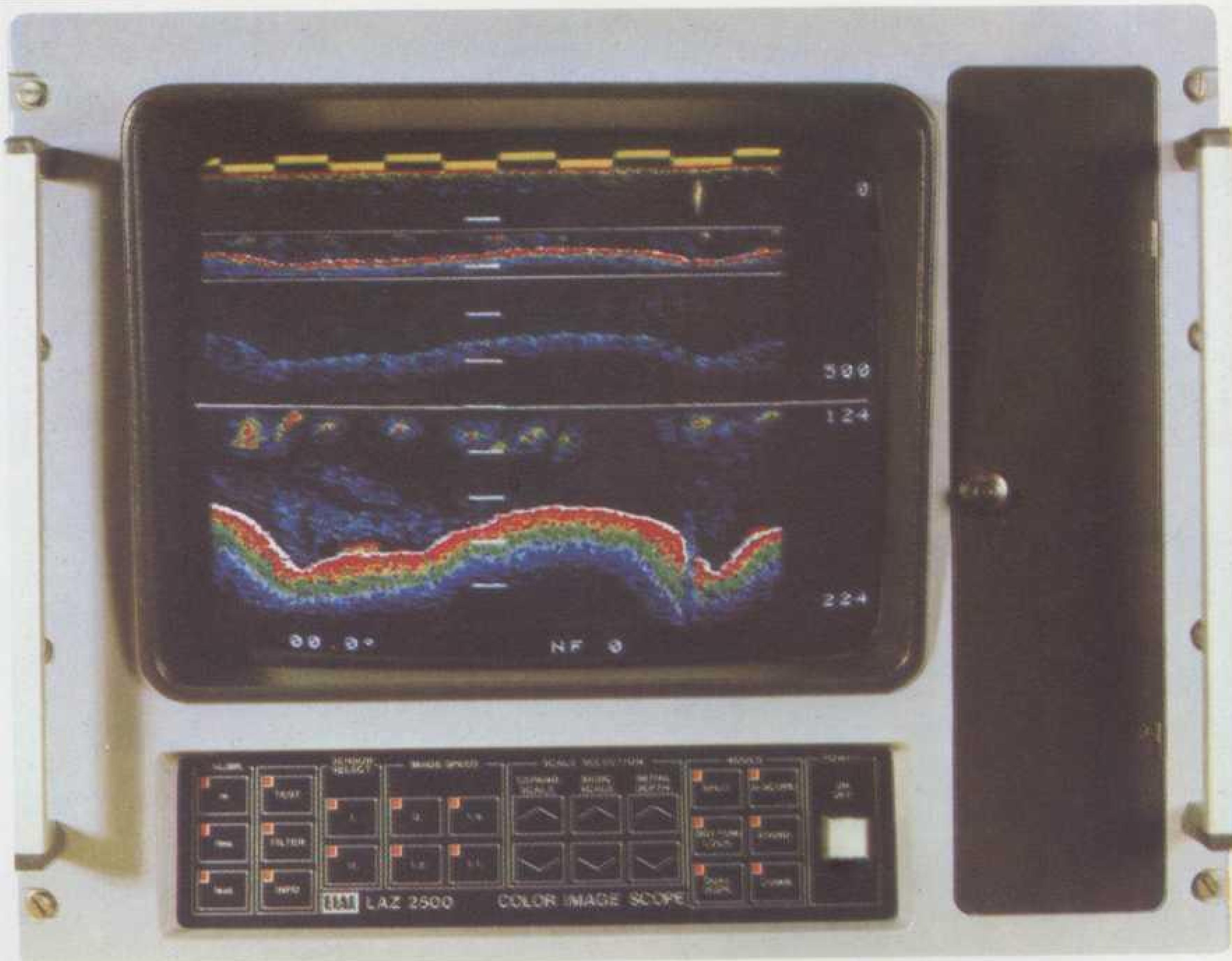


las embarcaciones de pesca. Otro método usado frecuentemente consiste en rodear el banco de peces con una red, que luego se cierra como un saco mediante un sistema de cables. Las redes de arrastre son utilizadas a menudo por los pescadores de bajura, que usan pequeñas embarcaciones de remos o de motor; arrastran las redes por el fondo y luego las vacían a bordo o en la playa. Hay un tercer tipo de arte de pesca con red, llamado de deriva o trasmallo, que consiste en colocar verticalmente varias redes superpuestas de manera que los peces son capturados al quedar enganchados entre sus mallas.

Los peces pelágicos, como el pez espada o el atún, se suelen pescar con palangre, que consiste en un cordel calado bajo el agua del cual penden varios ramales de anzuelos con cebo. Los palangres son lanzados por los pesqueros de altura y pueden ser muy largos: los "longliners" japoneses que faenan en el Océano Indico usan palangres de 50 km. También se emplean largos sedales con cebo para capturar especies como el bacalao, que vive en las plataformas continentales.

El pescado se solía conservar en los pequeños frigoríficos de los barcos, que trataban de llegar a puerto lo antes posible, antes de que se estropeara. Aunque este método todavía se emplea en pequeñas embarcaciones, en las grandes operaciones de pesca los barcos van equipados de modernas instalaciones para la ultracongelación o van acompañados de buques-factoría que elaboran el pescado y, como en el caso del atún, lo empaquetan o enlatan a bordo.

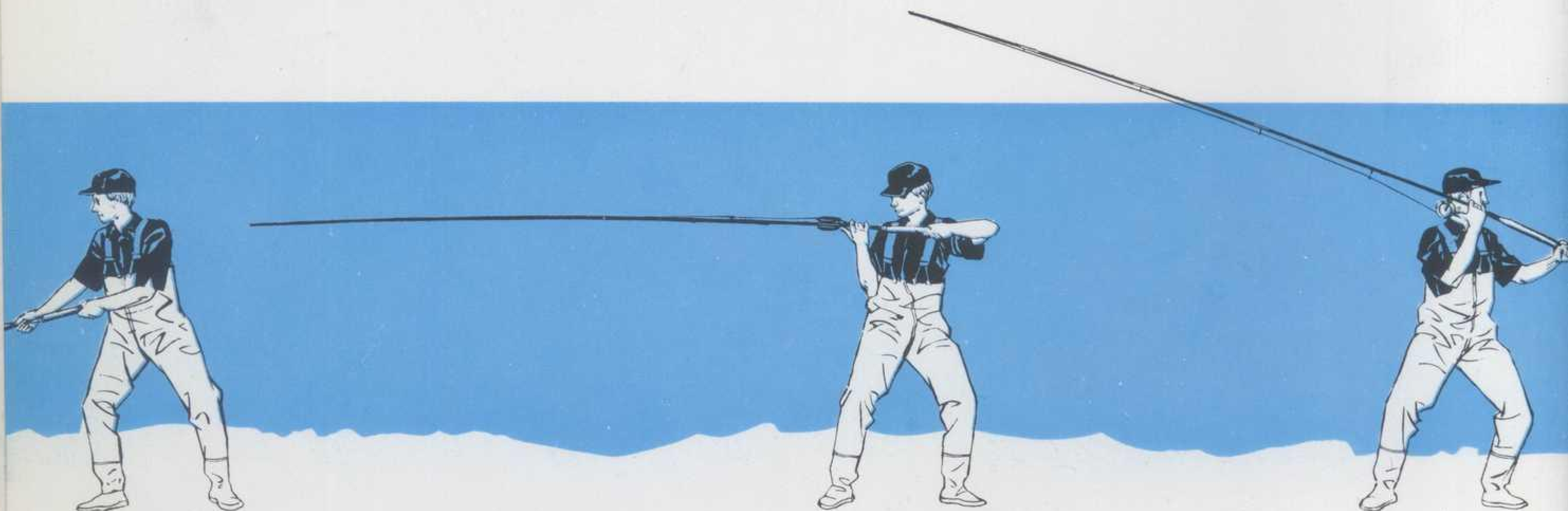
En las bahías y estuarios de los ríos se suelen utilizar trampas que aprovechan las corrientes y las mareas, y que están dispuestas de manera que los peces son empujados hacia las playas, hasta que pican en un anzuelo o caen en redes situadas formando ángulo recto con la orilla y sostenidas por palos clavados en el fondo. Cuando el pez cae en la red, trata de huir hacia el mar y acaba siendo atrapado en los copos o bolsas que forman algunas de estas redes.

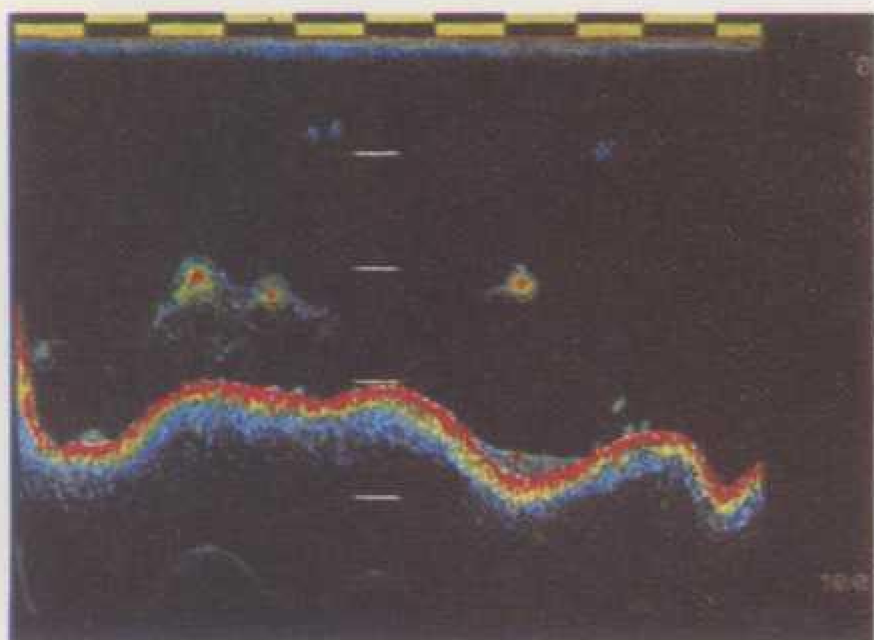


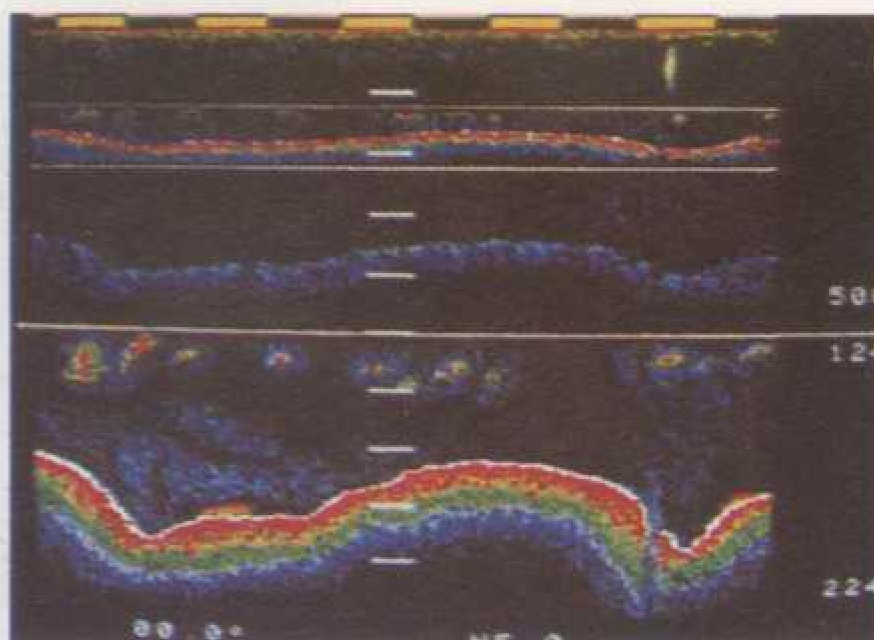
Para la captura de crustáceos se emplean trampas de metal o mimbre. Las ostras y los mejillones suelen cogerse en los fondos marinos muy poco profundos, cerca de la orilla, aunque también se suelen criar en viveros especiales. En general, los moluscos se cogen del fondo arenoso con la mano o con una draga. Los langostinos se pescan con redes de arrastre.

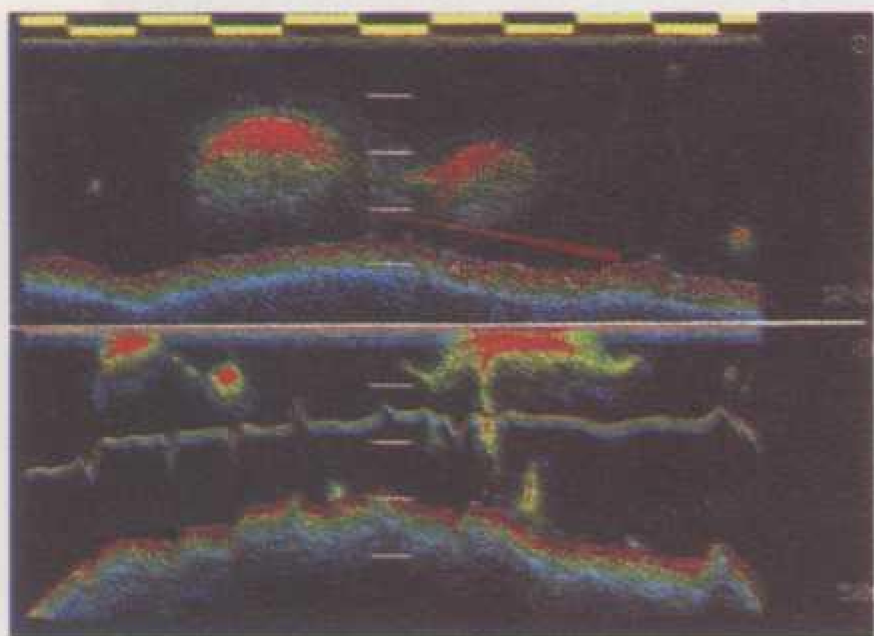
La pesca deportiva La pesca, además de ser una industria a escala mundial, también es una popular actividad deportiva. Hay dos tipos distintos de pesca deportiva según se realice en agua dulce o salada. Los pescadores de agua dulce lanzan sus sedales a los lagos, arroyos y ríos. Los de agua salada lo hacen al mar desde la orilla o desde barcas, mar adentro. También se puede hacer una clasificación de la pesca deportiva atendiendo al tipo de captura (trucha, salmón, grandes presas, como el pez vela, etc.) o al cebo empleado (gusanos, insectos, cebos artificiales).

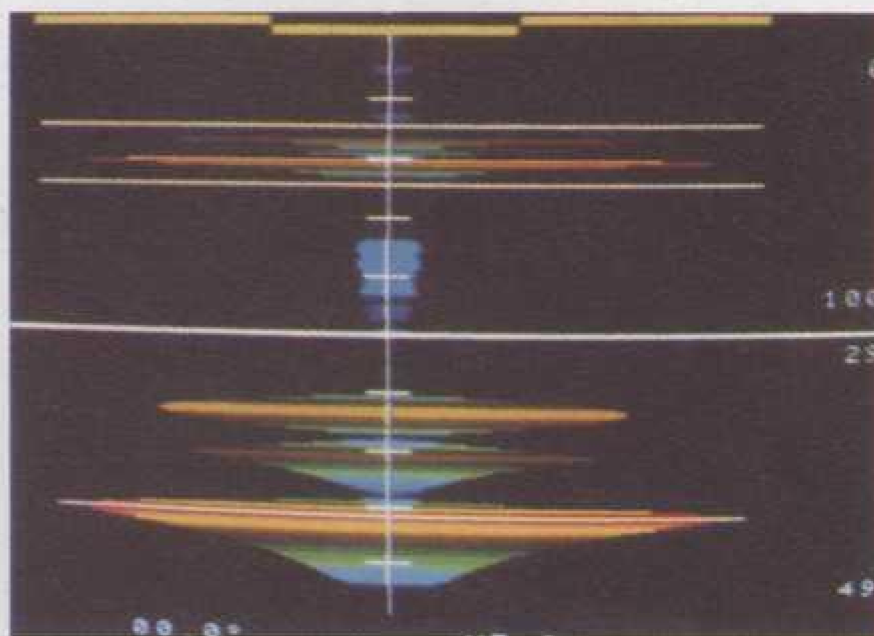
A pesar de la enorme variedad de peces existente en los océanos y ríos, las cifras globales de pesca han experimentado una continua disminución durante los











En la página anterior, en la imagen superior, se reproduce un moderno aparato de sonda acústica con el que se puede obtener una inmediata representación visual del fondo marino o fluvial, de los peces y del plancton, de las diferencias térmicas entre las diferentes capas de agua y de otros objetos sumergidos, gracias al uso de 8 ó 16 colores. Este aparato incorpora un sistema receptor-transmisor y un método de elaboración electrónica de las señales, que le hace independiente de cualquier otra instalación ecográfica. De esta forma, incluso un pez aislado puede ser localizado a una profundidad de unos 750 m. El equipo se puede emplear también para visualizar la red sonda o bien para representar simultáneamente los ecos verticales y los de la red sonda. La combinación de los más avanzados logros de la tecnología moderna se refleja en los óptimos resultados obtenidos por estas sondas acústicas, como la que se muestra en la página anterior y que corresponde al modelo Color Image Scope Laz 2500 de la casa Honeywell-Elac. A la izquierda de estas líneas se puede ver algunos registros en la pantalla de uno de estos aparatos de sonda acústiva: de izquierda a derecha se recoge un fondo memorizado a elección, escala base y ensanchada, registro de la sonda acústica y la red sonda, y ensanchamiento en toda la pantalla de la escala base. En la parte inferior de ambas páginas se ilustra la técnica de lanzamiento de caña con carrete de tambor giratorio. En la secuencia, de izquierda a derecha, puede verse: el pescador se prepara a lanzar; el peso del cuerpo se carga sobre la pierna derecha y la caña se mantiene a la altura del hombro, de forma que esté en línea con el antebrazo izquierdo que, a su vez, está levantado. En la figura siguiente vemos el primer movimiento del lanzamiento, en el que el peso del cuerpo se desplaza lentamente sobre la pierna izquierda, a medida que empieza el movimiento de empuje de la caña con las dos manos. En la siguiente representación todo el peso del cuerpo reposa ya, decididamente, sobre la pierna izquierda, y la caña se dobla hacia atrás, con lo que su impulso hacia adelante resulta mayor. Este tipo de pesca es apropiado para obtener lanzamientos largos, por lo que suele utilizarse en la costa marina o en lagos y pantanos. La pesca se clasifica en tres grandes grupos: pelágica, cuando se trata de peces de superficie, tales como el atún; de fondo, que son especies como la platija, el lenguado y la merluza; y de marisqueo.

últimos años. Con una población humana en aumento constante, y un planeta con recursos limitados, se hace necesaria una planificación detallada y una regulación inteligente de la pesca, es decir, hay que establecer un equilibrio adecuado entre la población de peces y el porcentaje de animales capturados. En la actualidad todos los países costeros tienen derecho a pescar dentro del límite de las 200 millas, según se firmó en la Convención sobre la Zona Económica Exclusiva por parte de numerosos Estados.

A medida que van disminuyendo las reservas de peces, va cobrando mayor importancia la cría a escala industrial. Se trata de una cría semejante a la de otros animales en sus dos vertientes de reproducción y engorde con fines de subsistencia y beneficio económico.

Historia de la piscicultura Las primeras formas de piscicultura aparecieron, probablemente, cuando tras haber pescado jóvenes ejemplares de peces, el hombre se preocupó de llevarlos a lugares protegidos y accesibles donde pudieran desarrollarse con toda tranquilidad. Las primeras noticias que tenemos de la práctica de la piscicultura se remontan a hace 4.200 años, época en que un sabio chino la menciona diciendo que es una práctica

4 5 6

familiar de orígenes remotos. Los romanos criaban anguilas y salmonetes (que para ellos eran alimentos de lujo), y los monjes medievales interrumpían su ascética dieta con peces sacados de estanques bien surtidos. No obstante, hasta finales del siglo XIX no se empezaron a aplicar métodos científicos a la piscicultura, que en los últimos años se ha convertido en una industria comercial a gran escala.

La piscicultura moderna Hay muchas piscifactorías autosuficientes, es decir, que en ellas no sólo crecen los peces hasta alcanzar el tamaño adecuado para su comercialización, sino que también se lleva a cabo la reproducción artificial y se efectúan cruces. Para llevar a cabo la inseminación artificial en laboratorio, se suelen seleccionar aquellos ejemplares más aptos para la donación de huevos y espermatozoides. Los huevos son fecundados y se incuban hasta la eclosión. Los alevines reciben una alimentación esmerada, en unos tanques especiales, hasta que alcanzan el peso deseado. El tiempo necesario para que alcancen dimensiones comerciales suele variar de 6 a 9 meses. Como el terreno cada vez se encarece más, es conveniente criar el mayor número de peces en el menor espacio posible. Los peces necesitan una cantidad de agua lo bastante grande como para asegurarles el oxígeno y eliminar los productos de desecho. Una vez terminado el crecimiento se extraen los peces, ya sea secando el estanque, ya sea bombeándolos directamente a grandes cubas que los transportan hasta las industrias de elaboración.

Es preciso que el piscicultor tenga una buena formación en lo que se refiere a conocer las necesidades biológicas y ambientales del pez. Los peces, por ejemplo, son muy sensibles a los cambios de temperatura, de manera que el piscicultor debe conocer la temperatura ideal para que crezcan más en menos tiempo. Esto implica que la temperatura del agua tiene que oscilar dentro de límites bastante próximos. Las especies de agua fría, como la trucha, necesitan agua limpia y muy oxigenada, y las piscifactorías de especies carnívoras, como la trucha, el salmón, la anguila, el rodaballo y el lenguado, dependen fundamentalmente de la disponibilidad de sustancias alimenticias ricas en proteínas animales.

El piscicultor, al igual que el agricultor o el ganadero, recurre a la ciencia para obtener especies más resistentes y con un rendimiento de carne más satisfactorio.

La piscicultura a gran escala tiende hacia la mecanización de las instalaciones, menos costosa que el trabajo manual, y a la mejora de los métodos de reciclaje del agua para compensar la creciente escasez de reservas de este elemento.

Cada vez se extiende más la idea de que, con la ayuda de la ciencia y la tecnología, algún día se podrán cultivar peces con la misma facilidad y el mismo rendimiento con que se crían actualmente los bóvidos y las aves de corral.

Véase **Acuicultura; Peces**



Para combatir la progresiva extinción de la trucha, amenazada por la pesca y la contaminación de las aguas, se recurre, cada vez con más frecuencia, a la introducción masiva en los cursos de agua de alevines procedentes de piscifactorías. Aquí vemos las piscinas para la cría. El agua que llega a la incubadora no debe atravesar las piscinas, para evitar que los huevos puedan contaminarse con microorganismos infecciosos.







En la fotografía del centro de la página y en las dos fotografías a la derecha de estas líneas, vemos varias fases de la cría de truchas; antes de la fecundación artificial se capturan los reproductores. Previamente se han separado los machos de las hembras. Aquí al lado, podemos observar cómo se comprime la cavidad abdominal de la hembra para sacar los huevos. En la foto siguiente vemos el proceso de extracción del esperma del macho, que posteriormente se esparce por encima de los huevos que se habían extraído de las hembras.

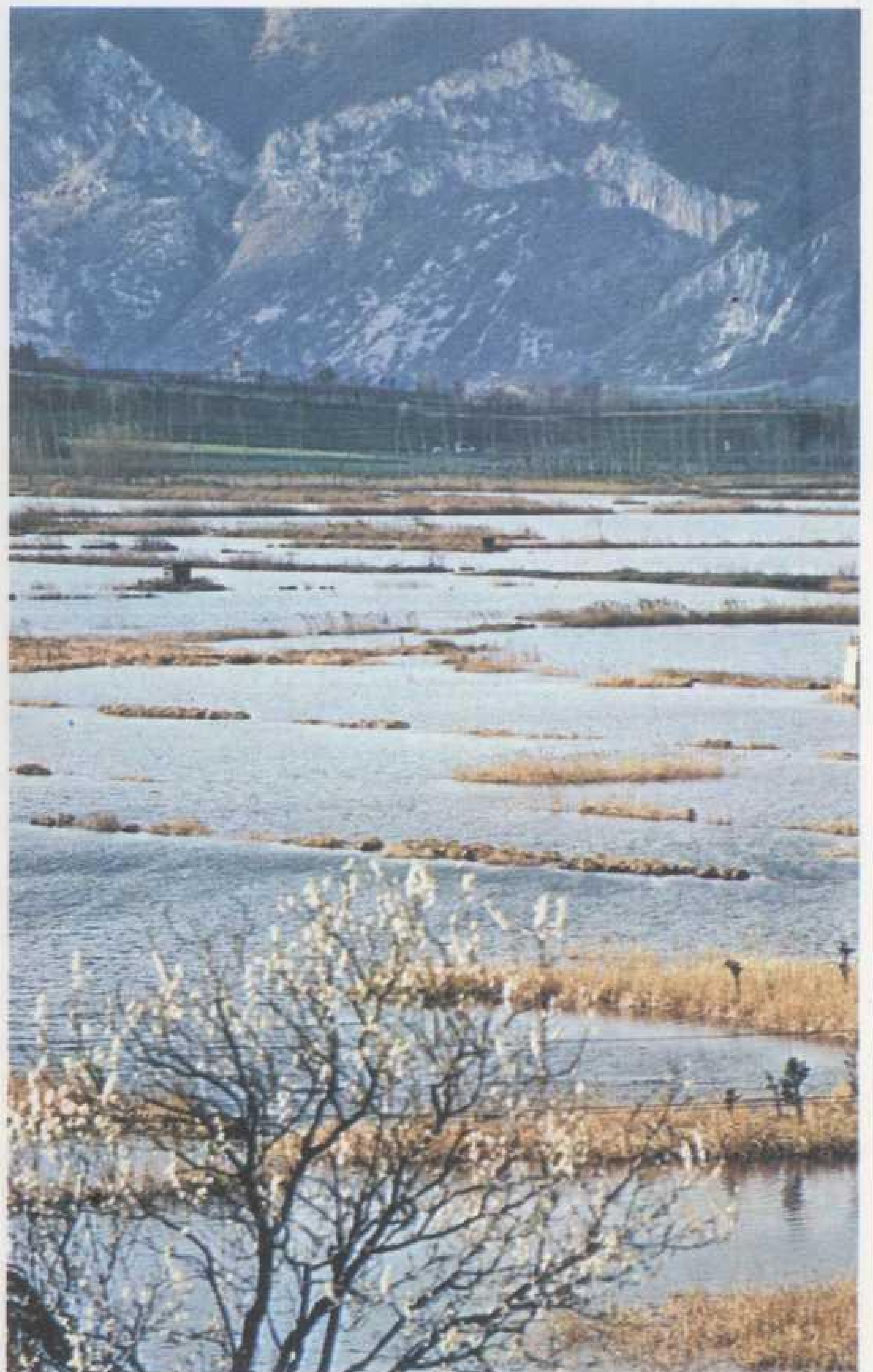






En las dos fotos superiores y a la izquierda de estas líneas se ven otras fases del proceso: los huevos se mezclan con el esperma y luego se traspasan a unas cubetas donde tienen lugar las distintas fases del desarrollo. En las fotos de abajo: captura de truchas arco iris (a la izquierda) en el estanque de una piscifactoría. La cría de truchas requiere cierto número de operaciones a intervalos regulares. Los cañaverales (a la derecha) son incubadoras naturales para los huevos, por lo que su destrucción es perjudicial para los peces.

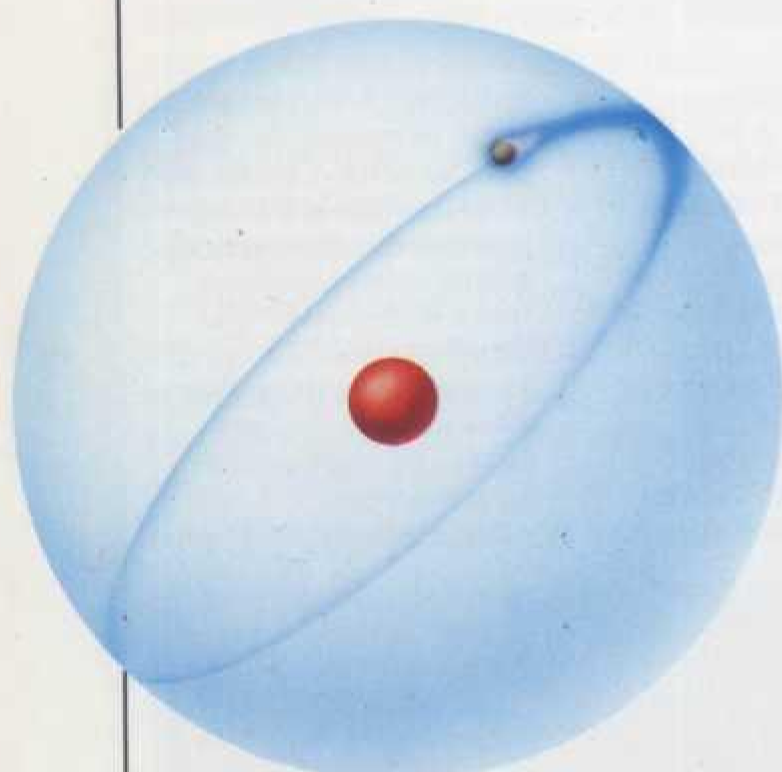




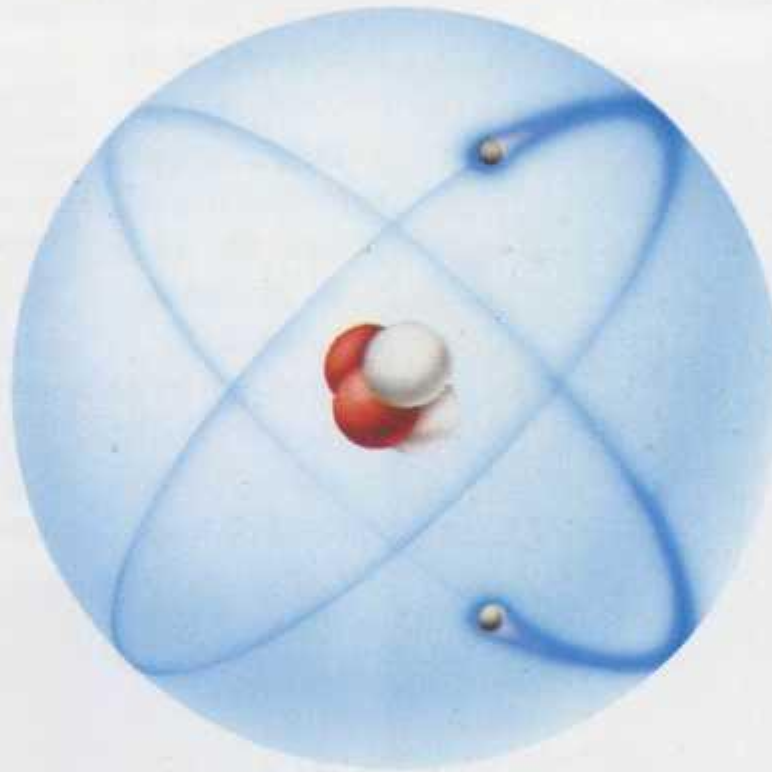
Peso atómico

En la investigación atómica los científicos tienen que utilizar unidades tan convencionales como pueden serlo el kilogramo, el metro o el segundo, pero incomparablemente más pequeñas. Se trata de unidades adaptables a ese microcosmos constituido por moléculas, átomos y partículas subatómicas.

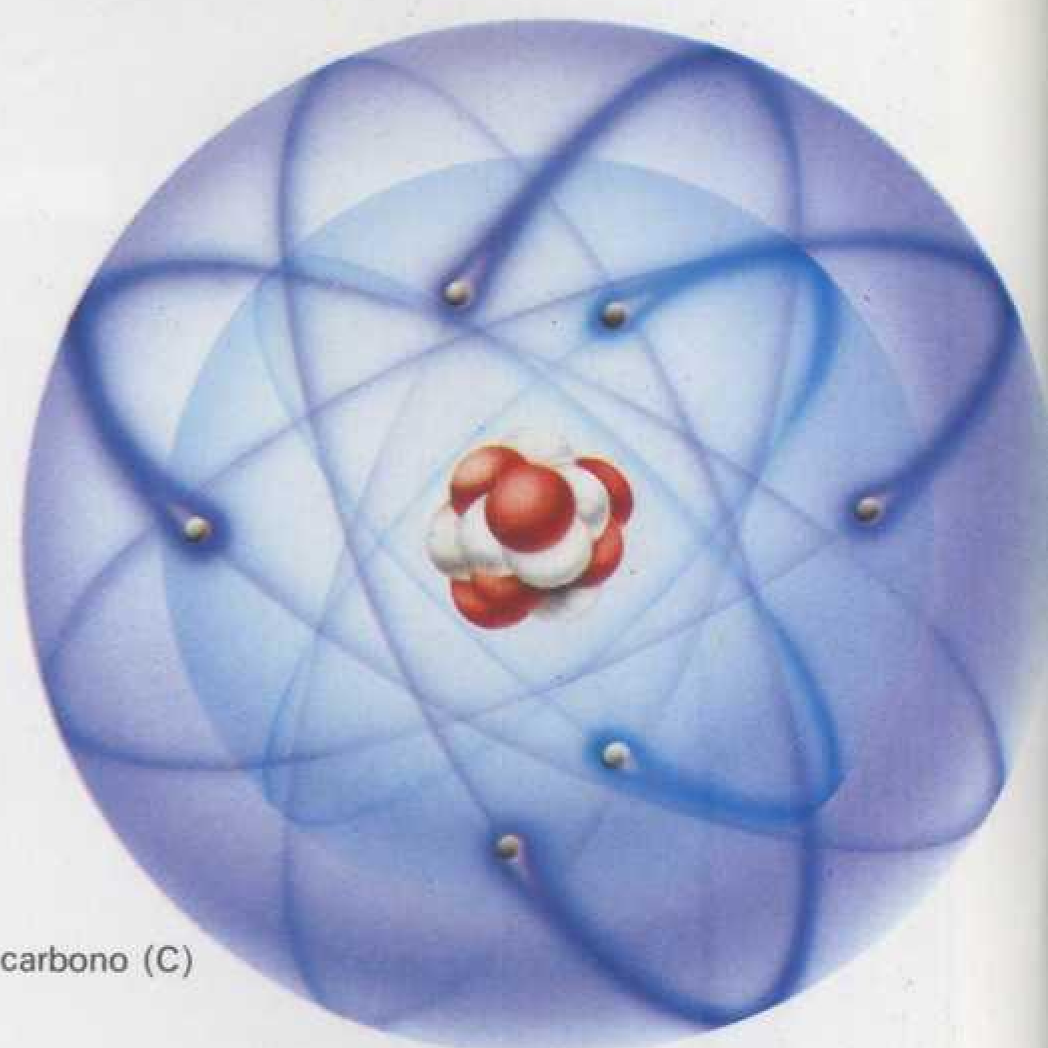
Este mundo tan peculiar escapa a menudo a nuestra imaginación. Pensemos, por ejemplo, en el hecho de que existen varios trillones de moléculas de agua en una sola gota de rocío y los mismos átomos de hierro, aproximadamente, en una limadura de este metal; que habría que poner en fila 100 millones de átomos de hidrógeno para cubrir la longitud de 1 cm, y que algunos procesos nucleares duran tan sólo una trillonésima de segundo.



hidrógeno (H)



helio (He)



carbono (C)

Unidades utilizadas en las mediciones atómicas Los procesos fisicoquímicos de intercambio de materia transcurren en un intervalo de tiempo a veces muy reducido, por lo que se suele emplear una unidad de tiempo muy pequeña, el nanosegundo (ns), equivalente a una millonésima de segundo, o bien al tiempo empleado por la luz en recorrer 30 cm.

Los diámetros de los átomos o las distancias entre los mismos al constituir enlaces químicos se miden en Ångström (Å), una unidad que equivale a una diezmillonésima de mm ($1Å = 10^{-10}$ m).

La masa de los átomos, de las moléculas e incluso de las partículas subatómicas se expresa en *unidades de masa atómica* (uma). La unidad de masa atómica equivale a un doceavo de la masa del átomo de carbono doce (^{12}C), cuya masa es exactamente 12,0000 en esta unidad. Se trata de una unidad tan convencional y arbitraria como el kilogramo, pero de gran utilidad en los cálculos químicos. Su equivalencia en gramos es:

$1 \text{ g} = 6{,}02 \times 10^{23}$ uma = 0,602 cuatrillones de uma.

Componentes másicos del átomo Un modelo aproximado sobre la constitución del átomo surgió al ser considerado como un sistema solar en miniatura en el que unas partículas diminutas, los *electrones*, cargados negativamente, giran en torno a un núcleo pesado, constituido por dos tipos de partículas cada una de las cuales es 1.840 veces más pesada que el electrón: los *protones* con carga positiva y los *neutrones* sin carga eléctrica. La masa de cada una de estas partículas es aproximadamente de 1 uma.

Cada uno de los 107 elementos existentes, de los cuales 89 son naturales y el resto obtenidos en el laboratorio, está constituido por átomos químicamente iguales, aunque pueden diferir en la masa. La identidad de los átomos de cada elemento radica en el *número atómico* o número de protones que tiene el núcleo y su masa viene caracterizada por el *número másico* (suma de protones más neutrones). Así, por ejemplo, el elemento oxígeno consta de tres tipos de átomos cada uno de los cuales contiene 8 protones y 8, 9 y 10 neutrones respectivamente: el número atómico de los tres es 8, pero su número másico es 16, 17 y 18. Distintos átomos de un mismo elemento pueden, por tanto, poseer diferente número másico, pero su número atómico es siempre el mismo. Los átomos de un mismo elemento que poseen el mismo número atómico y difieren en el número másico reciben el nombre de *isótopos* de ese elemento.

Las masas atómicas no son números enteros Aunque el número de protones y neutrones de un átomo (componentes másicos más importantes) es entero, la masa atómica no puede serlo. Hay diversas razones que justifican este hecho.

En primer lugar, la masa atómica de un elemento es media aritmética porcentual de las masas atómicas de los distintos isótopos que lo constituyen. Así, por ejemplo, el cloro consta de dos isótopos, uno de masa isotópica 35, que se encuentra en el cloro natural en la proporción del 77%, y otro con masa isotópica 37, y cuya abundancia en el cloro natural es el 23%. La masa atómica del cloro es, por tanto, 35,453.

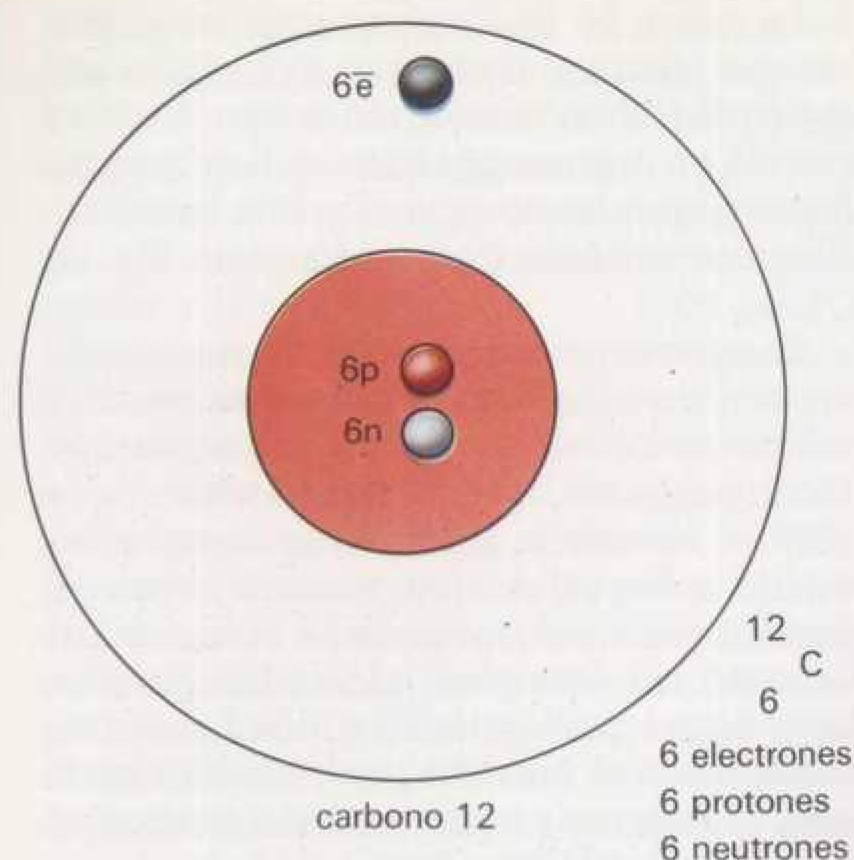
También hay que sumar a las masas de los núcleos atómicos la masa de los electrones, aunque ésta sea considerablemente menor.

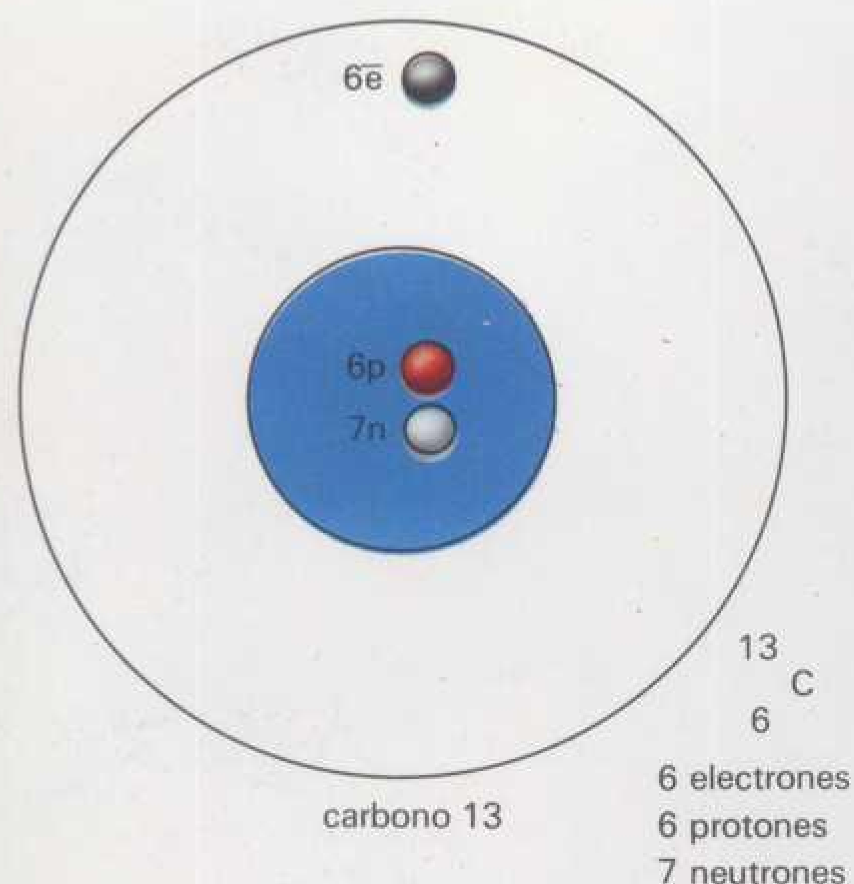
Otra razón proviene de la ecuación de A. Einstein: $E = mc^2$. En efecto, cuando los nucleones se unen para formar los núcleos atómicos se libera una gran cantidad de energía a expensas de una pérdida de masa de las partículas enlazantes. Por tanto, la masa del núcleo será siempre algo inferior a la suma de las masas de las diferentes partículas antes de formarlo.

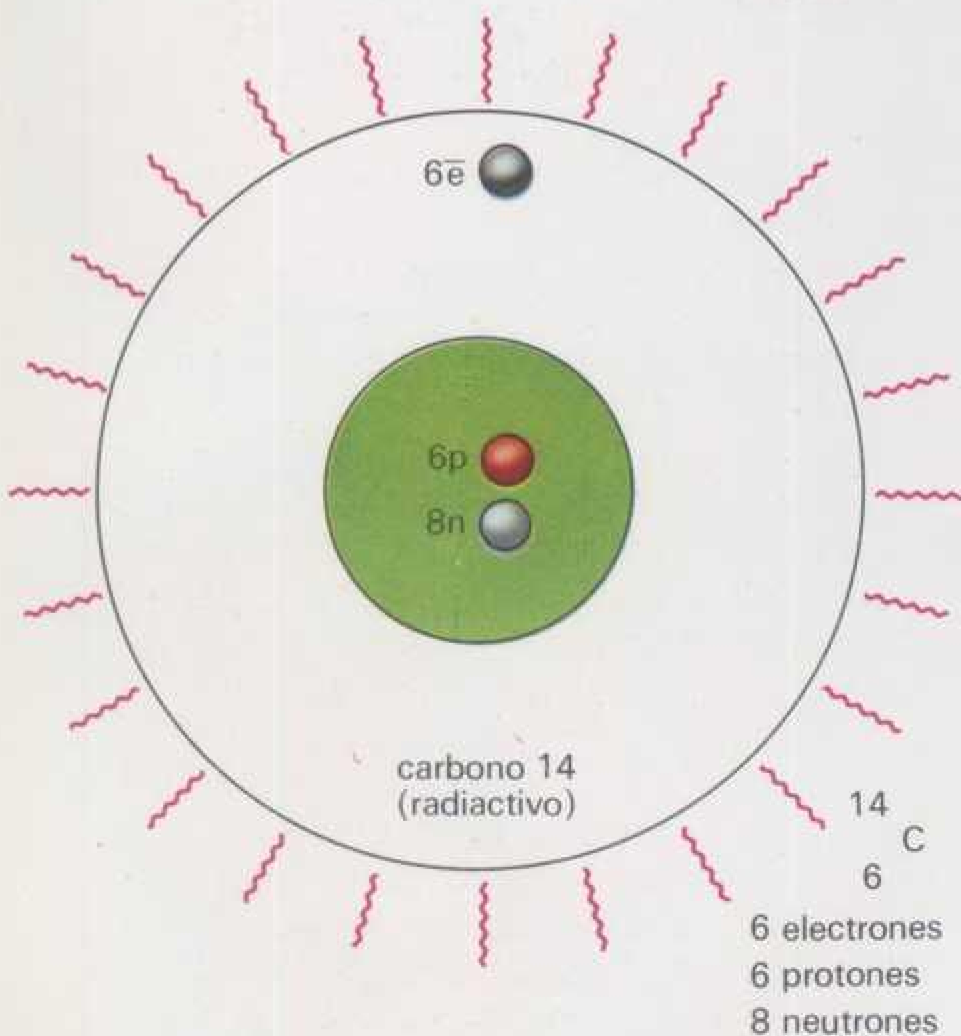
Peso atómico. Masa atómica Los conceptos de peso atómico y de masa atómica son inmediatos: peso y masa de un átomo determinado.

En la actualidad se emplea más el concepto de *masa atómica* por ser la masa de un átomo una magnitud constante y no dependiente del lugar en que esté situado. El peso atómico, por el contrario, no es constante, pues depende del lugar en el que se realiza la medida. En efecto, el peso es la fuerza ejercida por nuestro planeta sobre los objetos materiales que se encuentran en sus proximidades. Pero esa fuerza depende de la distancia entre los centros de masa de ese cuerpo y de la Tierra, por lo que el peso atómico y el de cualquier cuerpo es variable. El peso de un átomo es unas seis veces mayor en la Tierra que en la Luna y mucho mayor en Júpiter que en nuestro planeta.

La utilización, a veces indiscriminada, de los términos *masa atómica* y *peso atómico* se debe al hecho de que en nuestro planeta hay una equivalencia *numérica*. Así, un cuerpo de 2 kilogramos masa es atraído por la Tierra con la fuerza de 2 kilogramos fuerza (kilopondios); una persona pesa 65 kilogramos fuerza (peso) porque su masa es de 65 kilogramos masa. Sobre cada kilogramo la Tierra ejerce una fuerza de un kilogramo peso en un punto







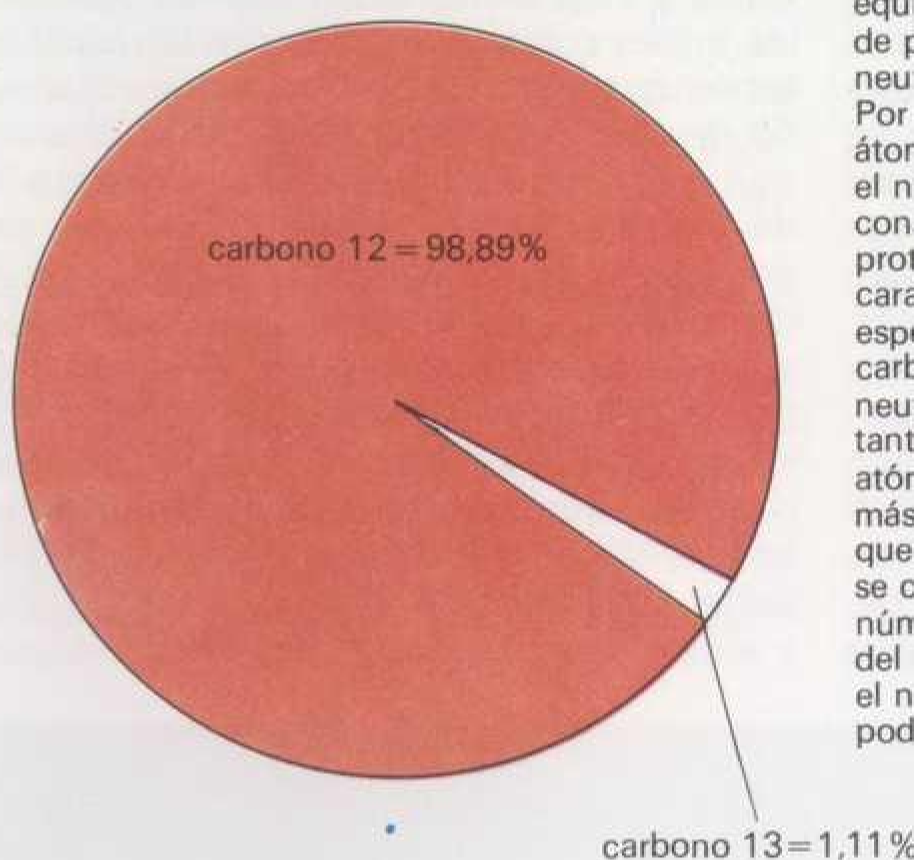
de su superficie cuya latitud sea 45°, siendo la gravedad en ese punto de 9,8 m/s^2.

El peso atómico y la masa atómica son conceptos que han estado ligados al descubrimiento de los átomos por parte de los químicos. Inicialmente los químicos eligieron el elemento más ligero, el hidrógeno, como elemento de referencia para determinar la masa atómica de los otros átomos. Elegida su masa como unidad arbitraria, la masa de los distintos elementos venía definida con un cociente o razón de la masa de esos elementos y la masa del átomo de hidrógeno.

Posteriormente, se eligió como unidad convencional 1/16 de la masa del átomo de oxígeno, y en la actualidad, según se ha visto anteriormente, 1/12 de la masa del isótopo ^{12}C, denominándola *unidad de masa atómica* (uma).

La masa atómica, por lo mismo, se expresa en la actualidad en uma. Por ejemplo, la masa atómica del oro es 196,967 uma. Es decir, un átomo de oro posee una masa 196,967 veces la masa de 1/12 de la masa del átomo de carbono de número másico 12.

Véase **Atomo; Elementos químicos; Isótopo; Tabla periódica de elementos**



En la página anterior, tres tipos diferentes de átomos: el átomo de hidrógeno, constituido por un protón y un electrón, cuyos números atómico y másico son equivalentes a 1; el átomo de helio, constituido por dos protones y dos neutrones que forman parte del núcleo junto a dos electrones externos: el número atómico es en este caso 2, correspondiente al número de protones del núcleo, y el número másico es 4, equivalente a la suma de protones y de neutrones del núcleo. Por último, el tercer átomo es de carbono: el núcleo está constituido por seis protones —que caracterizan a la especie química del carbono— y seis neutrones, y por lo tanto tiene un número atómico 6 y su número másico es 12. Dado que la especie química se caracteriza por el número de protones del núcleo, esto es, por el número atómico, podrá darse el caso de que existan átomos de una misma especie, por ejemplo, carbono, que se distingan entre sí por el número de neutrones del núcleo, esto es, por el número másico. Esto se ilustra mejor en esta página: se muestran aquí los tres isótopos del carbono: carbono 12, carbono 13 y carbono 14 (los valores representan a los números másicos). Junto a estas líneas se representan las proporciones centesimales de dos isótopos, el carbono 12, el más abundante, y el carbono 13; el carbono 14 no es estable y su presencia en el carbono natural es muy pequeña, si bien importante como isótopo "trazador".

Nombre del isótopo	Abundancia	Número atómico	Número de masa	Composición del núcleo	
				protones	neutrones
hidrógeno-1	99,985%	1	1	1	0
hidrógeno-2 (deuterio)	0,015%	1	2	1	1
helio-3	0,00013%	2	3	2	1
helio-4	~ 100%	2	4	2	2
litio-6	7,42%	3	6	3	3
litio-7	92,58%	3	7	3	4
berilio-9	100%	4	9	4	5
boro-10	19,6%	5	10	5	5
boro-11	80,4%	5	11	5	6
carbono-12	98,89%	6	12	6	6
carbono-13	1,11%	6	13	6	7
nitrógeno-14	99,63%	7	14	7	7
nitrógeno-15	0,37%	7	15	7	8
oxígeno-16	99,759%	8	16	8	8
oxígeno-17	0,037%	8	17	8	9
oxígeno-18	0,204%	8	18	8	10
flúor-19	100%	9	19	9	10
neón-20	90,92%	10	20	10	10
neón-21	0,257%	10	21	10	11
neón-22	8,82%	10	22	10	12

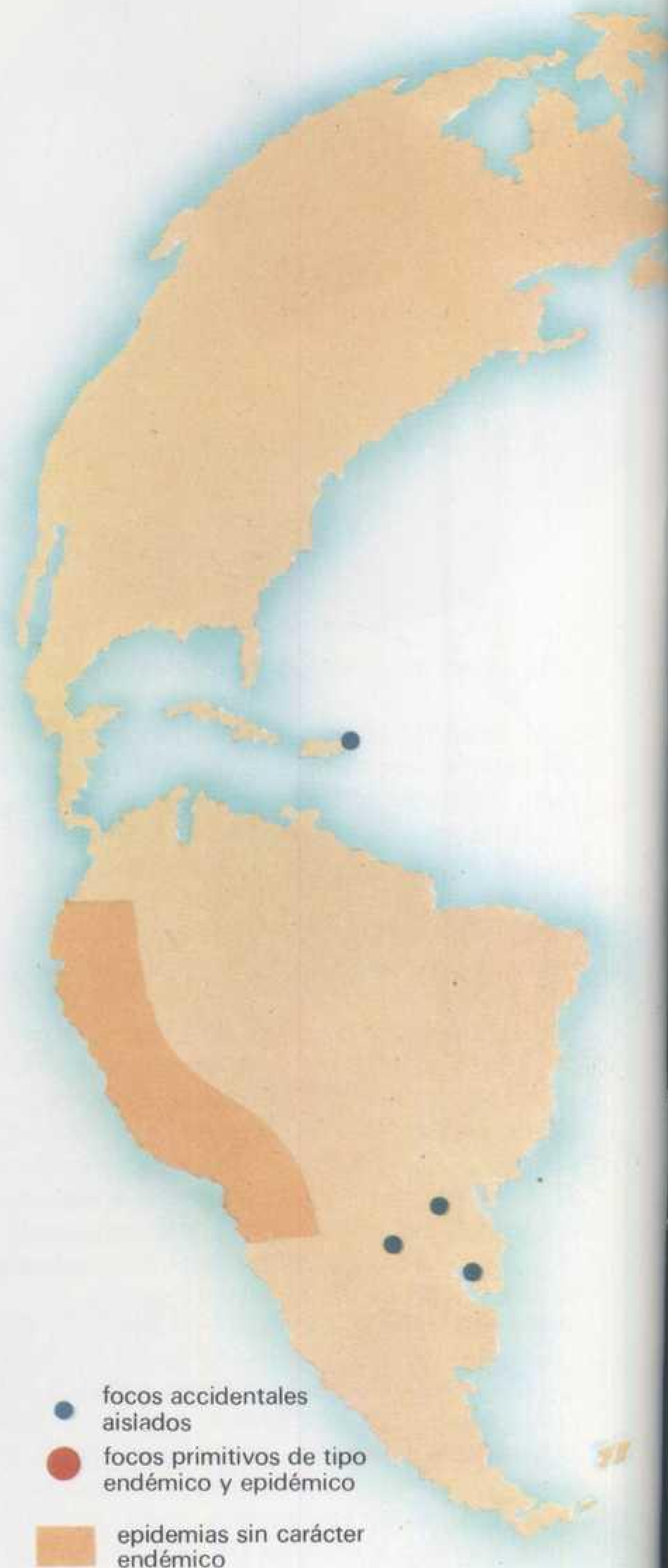
Peste

El lento y sostenido crecimiento de la población, típico de épocas antiguas, se veía periódicamente truncado por una serie de acontecimientos catastróficos, como eran las guerras, las malas cosechas, las crisis de subsistencias, las epidemias, etc., que provocaban grandes mortandades. Así describía el gran escritor Giovanni Boccaccio, en la jornada primera de su célebre obra *Cuentos del Decamerón,* la llegada a Florencia y los efectos de la epidemia de peste bubónica que asoló Europa entre 1348 y 1354 y que causó casi 25 millones de muertos: "Habían los años de la fructífera Encarnación del Hijo de Dios llegado al número de mil trescientos cuarenta y ocho cuando a la egregia ciudad de Florencia (...) llegó la peste mortífera que había comenzado algunos años antes en las partes orientales privándolas de gran cantidad de vivientes, y, continuándose sin descanso de un lugar en otro, se había extendido miserablemente a Occidente (...) Y no era como en Oriente, donde a quien salía sangre de la nariz le era manifiesto signo de muerte inevitable, sino que en su comienzo nacían a los varones y a las hembras semejantemente en las ingles o bajo las axilas ciertas hinchazones que algunas crecían hasta el tamaño de una manzana y otras de un huevo, que eran llamadas bubas por el pueblo. Y de las dos dichas partes del cuerpo, en poco espacio de tiempo empezó la mortífera buba a extenderse a cualquiera de sus partes indiferentemente, e inmediatamente comenzó la calidad de la dicha enfermedad a cambiarse en manchas negras o lívidas que aparecían a muchos en los brazos y por los muslos y en cualquier parte del cuerpo, a unos grandes y raras y a otros menudas y abundantes."

La peste es una enfermedad muy grave que afecta al hombre y a diversos animales. Su difusión geográfica, que fue muy amplia en épocas pasadas, es hoy muy reducida, quedando sólo algunos focos endémicos en Asia (India, Mongolia, Sur de China, etc.).

El agente causal —un bacilo designado en un principio como *Pasteurella pestis*, y rebautizado más tarde con el nombre de *Mersinia pestis*, que no fue descrito hasta 1894— infecta a los roedores, especialmente a las ratas, que se convierten en portadores y difusores de la enfermedad. Cuando los animales infectados mueren, las pulgas los abandonan e infectan a otros roedores o al hombre por picadura en la piel. El hombre puede también contagiarse por transmisión aérea.

En general, la enfermedad se caracteriza por dolor de cabeza, fiebre alta, esca-



lofríos, vómitos y diarreas. Normalmente este cuadro determina la muerte del enfermo al cabo de pocos días, con gran afectación del estado general.

Existen diferentes tipos de peste, entre las que destacan la peste bubónica, la pulmonar y la cutánea.

La *peste bubónica* es la más frecuente (80% de los casos), y se adquiere por la picadura de pulgas infectadas. Se caracteriza por fiebre alta, vómitos, intensos dolores musculares y por la aparición de hinchazones duras y negras, llamadas bubones, en torno a los ganglios linfáticos. Pueden desarrollarse también pústulas negras en el cuerpo, sobre todo en las proximidades de los bubones, responsables de la denominación de "peste negra" que se le ha dado a la enfermedad. El enfermo muestra gran debilidad, marcha vacilante y palabra balbuciente.

La *peste pulmonar* es mucho menos frecuente (1% de los casos) y se contagia al enfermo por inhalación. A su vez, el enfermo puede contagiarla a través de los esputos y de las gotitas de saliva expelidas al toser. El cuadro clínico, de carácter neumónico, reviste gran gravedad y suele producir la muerte del enfermo.

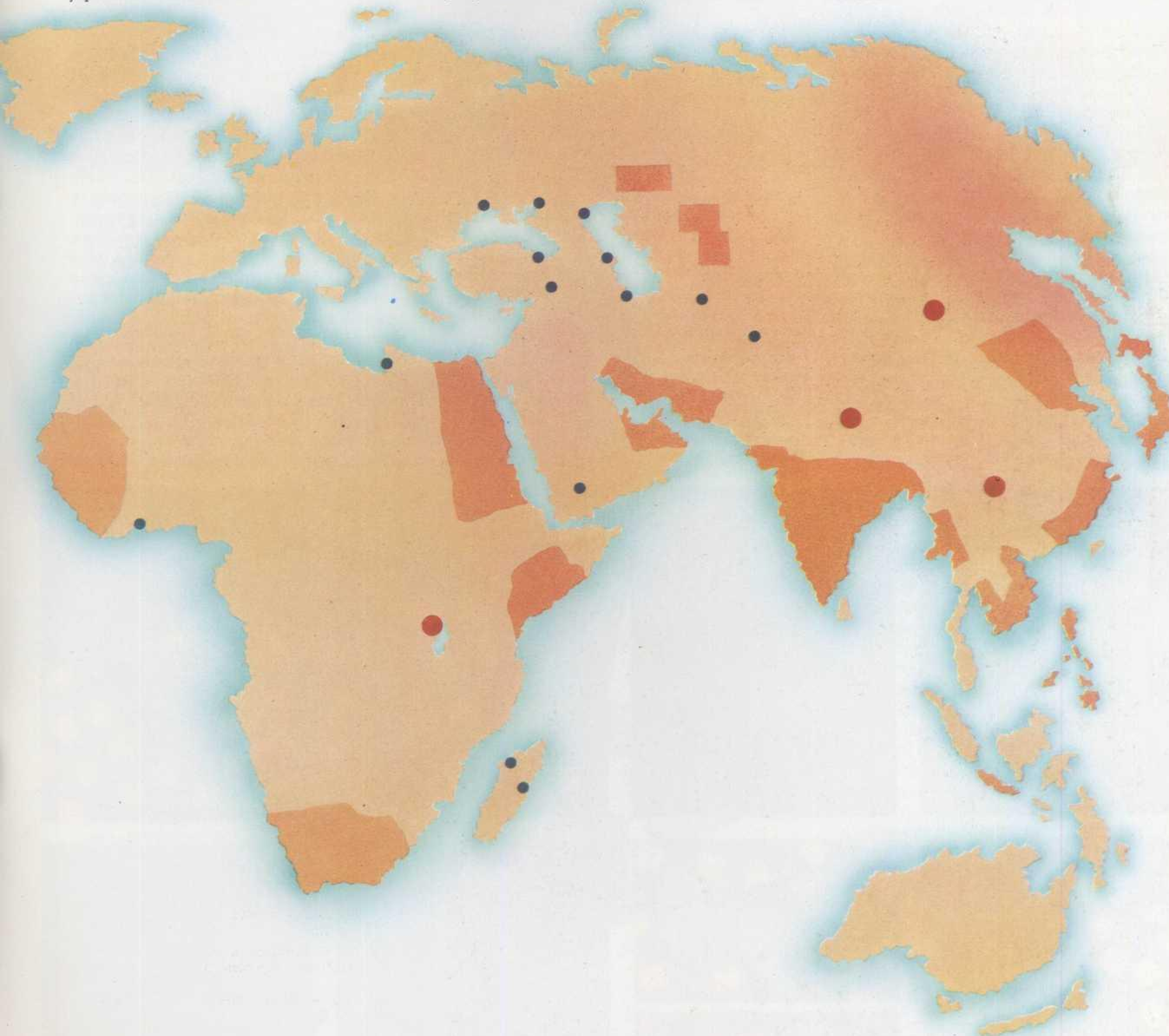
La *peste cutánea* (5% de los casos) se manifiesta principalmente por infiltraciones diversas en la piel.

La peste ha representado, desde siempre, uno de los más terribles azotes de la Humanidad, afectando a amplias zonas de todo el planeta. En el mapa bajo estas líneas se recoge una distribución geográfica de focos accidentales aislados; de focos primitivos de tipo endémico y epidémico, y de las áreas de epidemias sin carácter endémico. En la página anterior, fragmento del cuadro de J. A. Gros, *Napoleón visita a los apestados de Saffa.*

El tratamiento fundamental de esta enfermedad consiste en la administración de antibióticos y sulfamidas, gracias a los cuales la mortalidad general se ha reducido al 10%, cifra realmente baja en comparación con los estragos que la enfermedad producía en el pasado. La profilaxis ha contribuido en gran manera a su erradicación de muchas áreas y a su control; las medidas principales son la desratización de las zonas consideradas como peligrosas y el aislamiento riguroso de los enfermos afectados.

Asimismo se emplean con buenos resultados dos vacunas preparadas a base de gérmenes vivos o inactivos. Afortunadamente, la peste bubónica es hoy una enfermedad controlada y prácticamente erradicada.

Véase **Enfermedades infecciosas; Infección; Medicina**



Petrografía

El estudio microscópico de las rocas constituye un medio auxiliar enormemente valioso en los estudios geológicos. La información que se puede obtener mediante la observación microscópica, a veces de una sola roca, puede aportar un conocimiento bastante preciso de la historia geológica de toda una región, cadena de plegamiento, cuenca sedimentaria, etcétera.

Petrología y petrografía La Petrología es una especialidad de la Geología que estudia los procesos de formación de las rocas. Dentro de ella se distinguen dos grandes ramas: la *Petrología sedimentaria y la Petrología endógena*. La primera se ocupa de las rocas que se forman en la superficie terrestre y de los procesos de erosión y sedimentación en distintos medios: glacial, fluvial, marino, etc. La Petrología endógena estudia, por el contrario, las rocas de origen profundo, esto es, las que se forman en regiones del planeta sometidas a altas presiones y temperaturas. Pueden ser rocas *ígneas*, procedentes de la cristalización del magma, o bien *metamórficas*, resultantes de la modificación mineral, estructural y a veces química de otras rocas. La *petrografía* es un instrumento auxiliar de la Petrología, cuyo objetivo es el de describir las rocas al microscopio y clasificarlas.

Las rocas estan formadas por combinaciones de minerales que adoptan entre ellos diferentes relaciones de tamaño y forma, lo que se denomina *textura*. El análisis de la composición mineralógica, junto con el de las texturas, permite conocer con gran detalle las diferentes etapas seguidas por la roca a lo largo de su historia. Para ello, el petrólogo se basa en ciencias auxiliares, como la termodinámica y la experimentación fisicoquímica.

En principio, una roca es un *sistema* formado por varias fases, que son los minerales, y un número variable de componentes químicos. Este sistema puede representar una configuración en equilibrio o ser metaestable, esto es, presentar una configuración distinta a la de equilibrio, pero que persiste indefinidamente por ser muy lentas las velocidades de reacción entre los minerales. Las rocas endógenas alcanzaron el equilibrio durante su formación. Gracias a la lentitud de los cambios, esas configuraciones minerales profundas pueden persistir intactas a lo largo del complejo proceso geológico de levantamiento y erosión de una región dada. En otros casos experimentan cambios que pueden ser más o menos intensos y que se reflejan con la aparición de nuevos minerales y en determinadas texturas.

La combinación de los estudios petrográficos con los de campo y los químicos (geoquímica), permiten hoy día conocer la historia de sectores, a veces muy complejos, con notable precisión.

Los instrumentos de la petrografía El estudio petrográfico se realiza mediante la elaboración de las denominadas *láminas delgadas* y su observación en un *microscopio de polarización*.

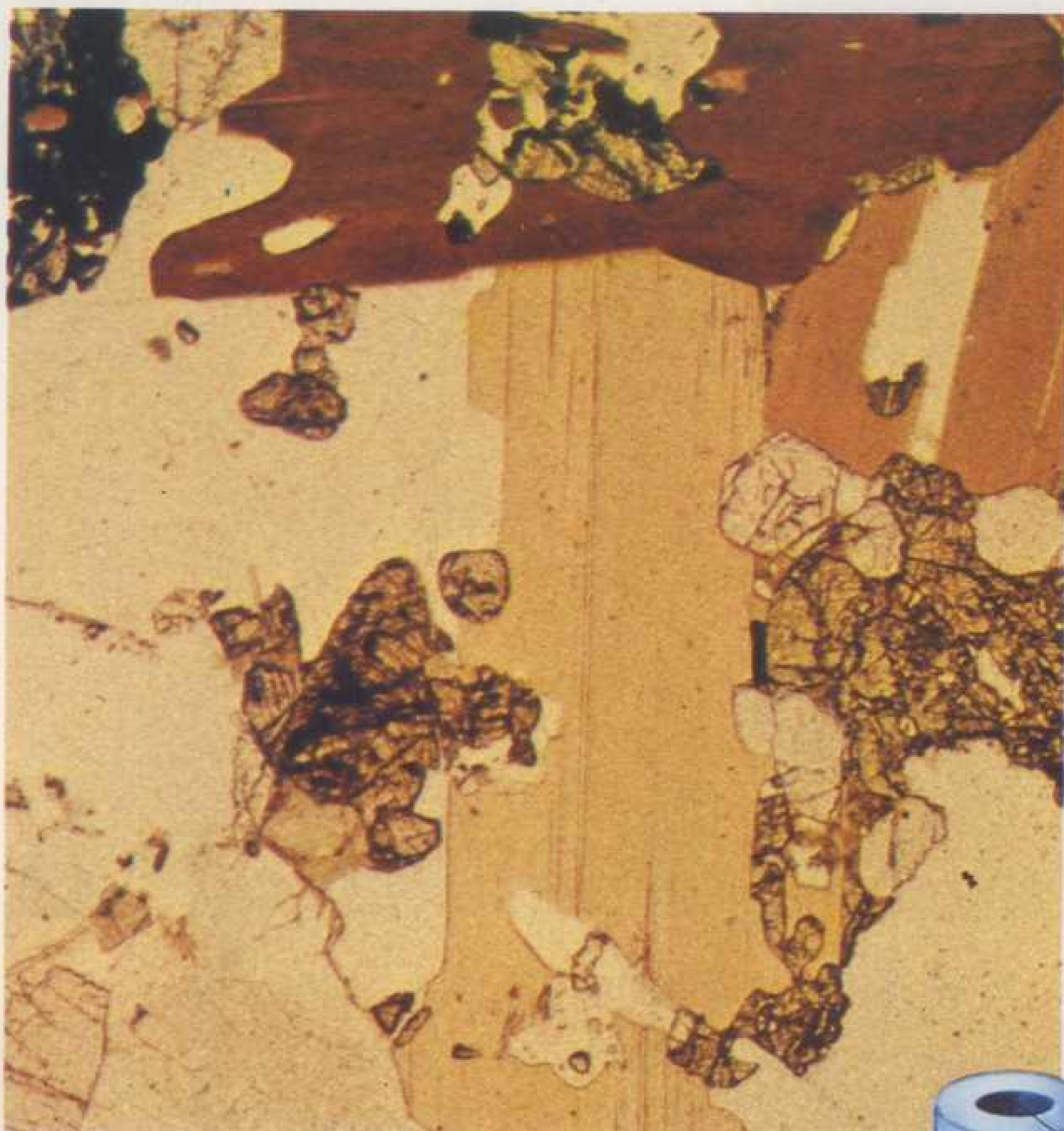
Las muestras de rocas tomadas en el campo se cortan, en laboratorios especializados, con sierras de diamante hasta obtener un taco con las dimensiones aproximadas de un vidrio portaobjetos. El taco se pega al vidrio con resinas especiales o bálsamos de Canadá y se desbasta seguidamente hasta reducirlo a un grosor de unos 25 a 30 micrómetros. La lámina así obtenida es lo suficientemente delgada como para que la luz pueda atravesarla permitiendo su estudio en un microscopio de luz transmitida. Son los minerales translúcidos. Otros minerales, llamados opacos, sólo pueden estudiarse con luz reflejada.

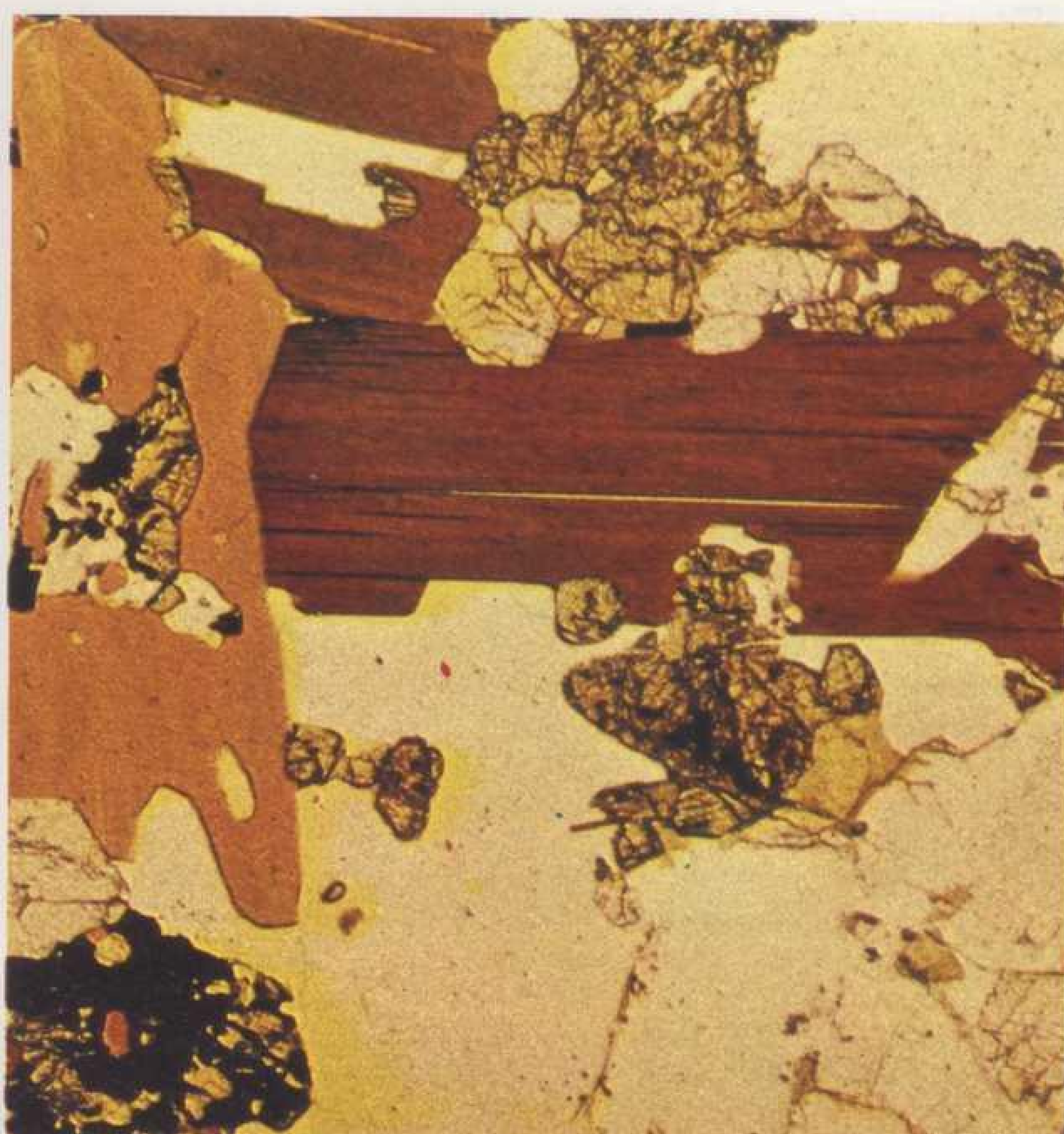
El estudio microscópico tiene como primer objeto la identificación de los minerales. Esta se basa en las diferencias de sus propiedades ópticas al ser atravesados por la luz, que en los microscopios petrográficos es siempre luz polarizada. La luz polarizada se diferencia de la normal en que la onda luminosa vibra sólo en un plano, lo que se consigue haciendo pasar la luz normal por un polaroide llamado *polarizador*.

La luz polarizada puede comportarse de dos maneras al atravesar el mineral: o bien continúa sin experimentar cambios o bien se descompone en dos rayos que vibran en direcciones perpendiculares y según direcciones características del cristal (doble refracción). El primer caso es el de los minerales isótropos (minerales amorfos o del sistema cúbico). El segundo caso se da en todos los demás minerales, que se llaman anisótropos. La intercalación de un segundo polaroide, llamado *analizador*, girado 90° respecto al primero y situado a la salida del haz luminoso, permite distinguir ambos grupos de minerales, ya que los primeros se mantendrán oscuros al girar la platina del microscopio, mientras que los segundos se iluminarán y mostrarán propiedades ópticas cambiantes según el ángulo de giro de la platina. Este fenómeno contribuye a dar una gran belleza a la lámina que se muestra como un espectacular mosaico de colores y formas variadas.

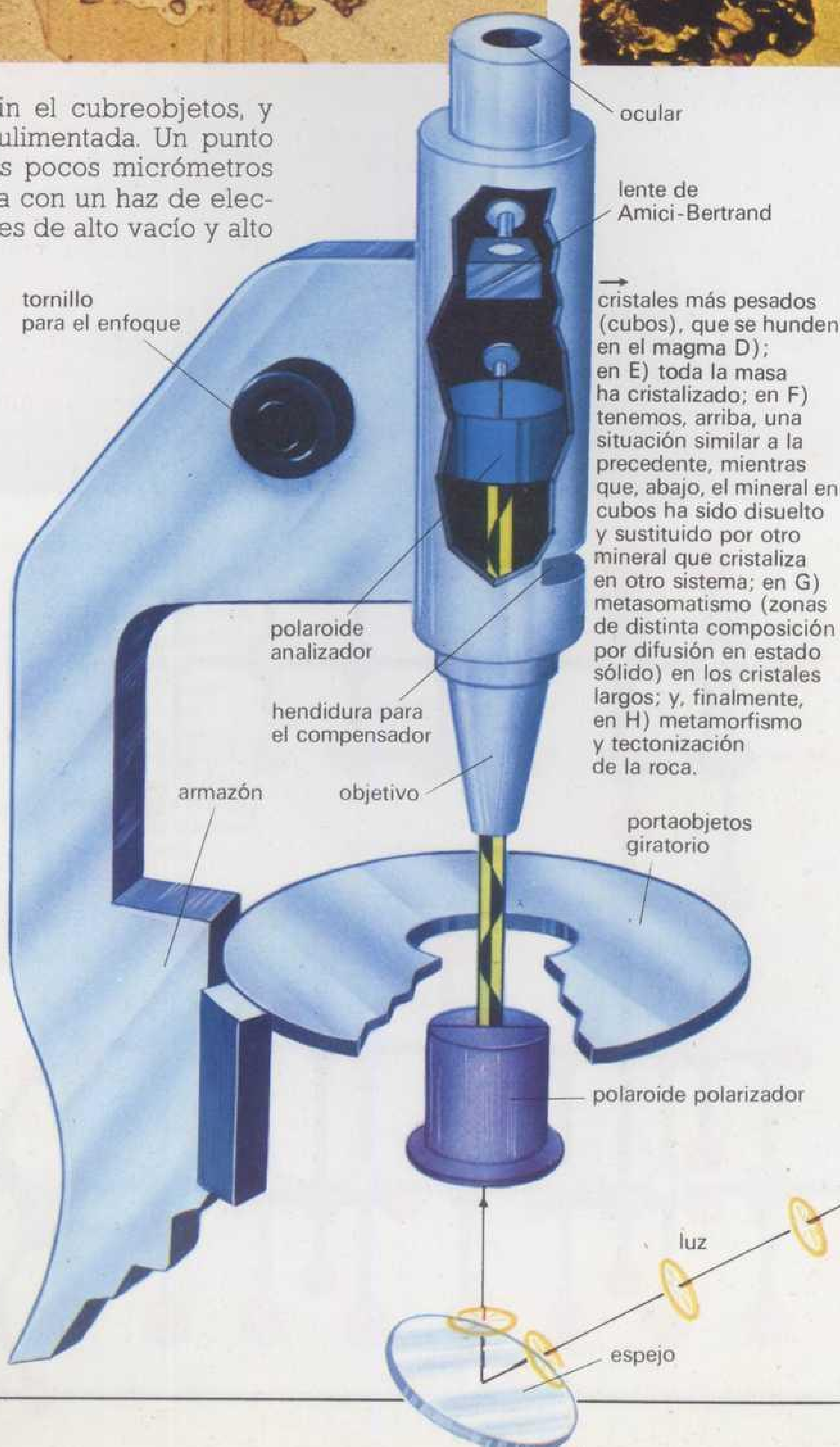
A veces las propiedades ópticas de un mineral son insuficientes para su identificación precisa, debiéndose recurrir a otras técnicas. La más moderna es el análisis químico directo del mineral en cuestión con la ayuda de una *microsonda electrónica*. El análisis se lleva a cabo en lámi-







na delgada, pero sin el cubreobjetos, y con la superficie pulimentada. Un punto del mineral de unos pocos micrómetros de tamaño se irradia con un haz de electrones en condiciones de alto vacío y alto voltaje. Los elementos químicos que forman el mineral emiten una radiación X característica (radiación fluorescente), cuyo análisis mediante un dispositivo electrónico adecuado permite identificar el elemento y su abundacia en el mineral, obteniéndose así la composición química.



A la derecha, microscopio petrográfico: permite iluminar la preparación con luz polarizada y analizarla con el ocular interponiendo en su camino un segundo polarizador. Si se observan láminas delgadas de roca (unos 25 micrómetros de espesor), se ven las áreas correspondientes a los minerales con colores característicos, que varían al girar la platina. Arriba, biotita, una mica, observada con luz polarizada en dos orientaciones: en la primera está coloreada de amarillo, y en la segunda se ve marrón, hecho que permite una identificación segura. Con el análisis de las rocas en láminas delgadas, se puede reconstruir la historia de su formación y evolución (esquema de la página anterior). Por ejemplo, partiendo de un magma fundido A), al enfriarse se tiene la cristalización de un primer mineral B); a continuación, lo hace un segundo mineral cuyos cristales tienen forma de pequeños cubos C); en la cámara magmática se produce la sedimentación de los → cristales más pesados (cubos), que se hunden en el magma D); en E) toda la masa ha cristalizado; en F) tenemos, arriba, una situación similar a la precedente, mientras que, abajo, el mineral en cubos ha sido disuelto y sustituido por otro mineral que cristaliza en otro sistema; en G) metasomatismo (zonas de distinta composición por difusión en estado sólido) en los cristales largos; y, finalmente, en H) metamorfismo y tectonización de la roca.

Determinaciones en polvo La microsonda ha superado hoy día a otras técnicas menos costosas, pero más laboriosas, que no obstante se siguen utilizando.

En todos los casos, las rocas se pulverizan a un tamaño muy fino. Con el polvo se pueden hacer estudios de difracción de rayos X. Cada mineral difracta una radiación X monocromática según valores angulares muy precisos relacionados con los distintos sistemas de planos en que se disponen los átomos en el retículo cristalino. Esta técnica se utiliza sobre todo en estudios de estructura cristalina.

También es muy usual la medida del índice de refracción mediante la inmersión de los granos del mineral en líquidos de índice conocido. Otra técnica se basa en la determinación del peso específico mediante el empleo de los llamados líquidos densos, que son líquidos orgánicos, como por ejemplo el yoduro de metileno (p. e. = 3,32) o el bromoformo (p. e. = 2,86). Los granos de minerales de peso específico comprendido entre el de ambos flotarán en el yoduro de metileno y se hundirán en el bromoformo.

También se emplean con bastante frecuencia técnicas de identificación basadas en las propiedades magnéticas de los minerales.

Véase **Minerales; Rocas**

Petróleo

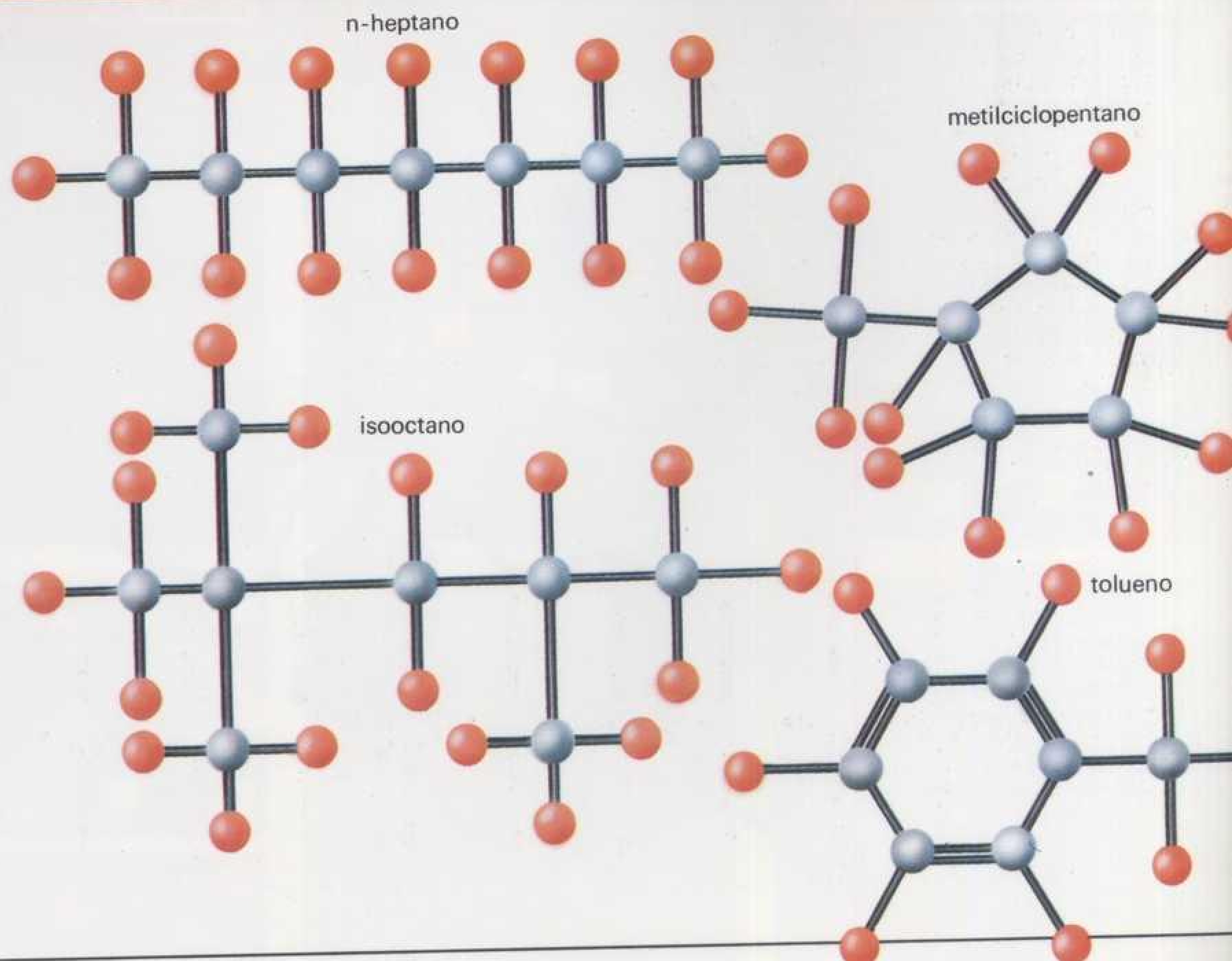
El panorama económico actual depende en gran medida del petróleo. En los países desarrollados, el consumo global de la energía procedente del petróleo se distribuye entre varios sectores. El principal de ellos es, generalmente, el de producción de energía eléctrica, seguido del industrial. Así, a manera de ejemplo, materiales de uso cotidiano y hoy día imprescindibles, como los plásticos y el nailon, algunos fármacos —como la aspirina— y otros muchos productos, derivan del petróleo. Además, aunque en menor proporción, una parte importante de la energía de origen petroquímico consumida tanto en los países desarrollados como subdesarrollados se dedica al transporte, público y privado, y a diferentes uso domésticos: calefacción, iluminación, producción de agua caliente, etcétera.

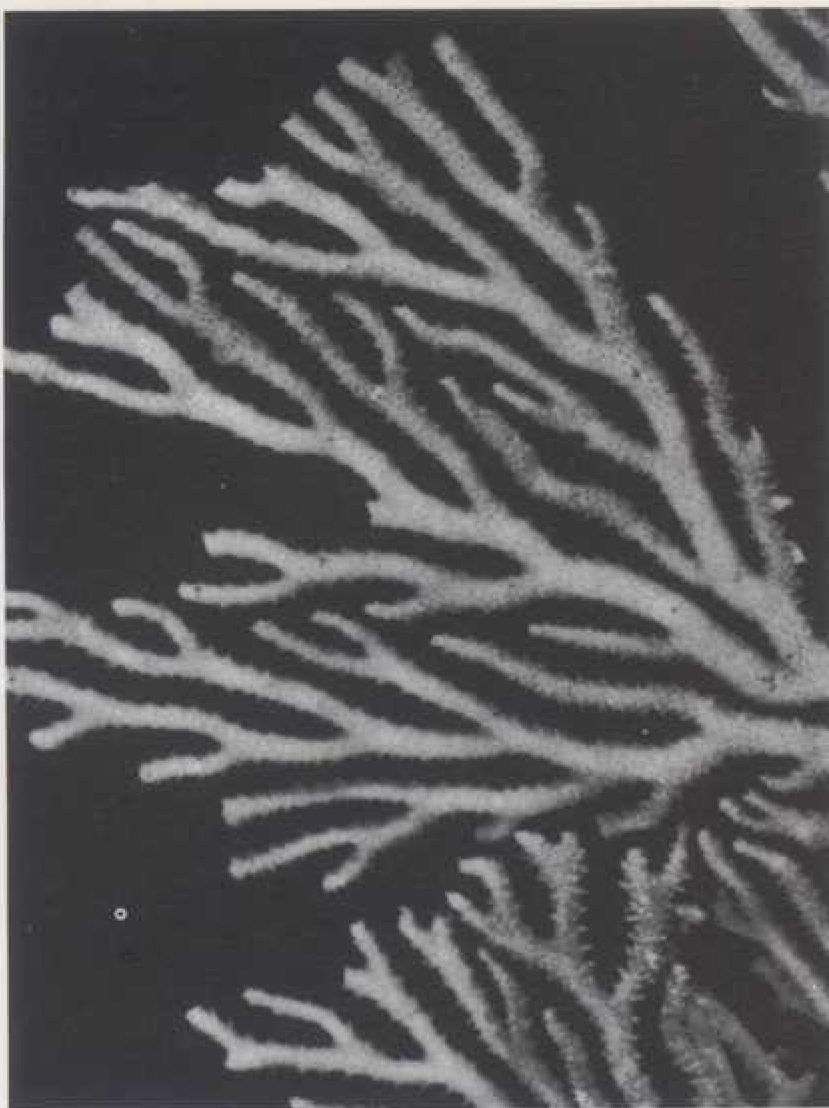
Las repercusiones de las alzas y bajas en el precio del petróleo afectan rápidamente a las economías de todos los países del mundo. Además, las reservas petrolíferas se agotan y, aunque cabe pensar que quedan por descubrir nuevos yacimientos, terrestres o marítimos, y que la tecnología puede perfeccionarse hasta alcanzar profundidades hoy día inaccesibles, resulta absolutamente necesario investigar nuevas formas alternativas de energía.

Hoy día compiten con el petróleo otras fuentes energéticas, como son el carbón y la energía nuclear. El primero, que no por tradicional ha perdido un ápice de importancia (España en este sentido posee importantes reservas de dicho combustible), presenta, sin embargo, más inconvenientes: su extracción es más difícil y provoca más impactos ecológicos. Igualmente, la energía nuclear de fisión es motivo de controversia por los riesgos que conlleva su empleo y el almacenamiento de los residuos altamente radiactivos.

La investigación de fuentes energéticas alternativas sigue hoy diferentes derroteros. Pueden destacarse en este sentido el desarrollo de tecnologías que permitan transformar las energías solar, eólica y maremotriz. Asimismo se investiga en la derivación de hidrocarburos por métodos sintéticos y orgánicos y en su obtención a partir de materiales naturales pobres,

El petróleo se encuentra en terrenos de muy distintas edades geológicas (principalmente terciarios, paleozoicos y mesozoicos), contenido en rocas sedimentarias, como las areniscas y las calizas porosas. Un típico yacimiento de petróleo está constituido por un conjunto de rocas más o menos porosas, recubiertas por una capa o sello impermeable, e impregnadas de hidrocarburos líquidos de cadena abierta, ramificada o cíclicos (abajo).







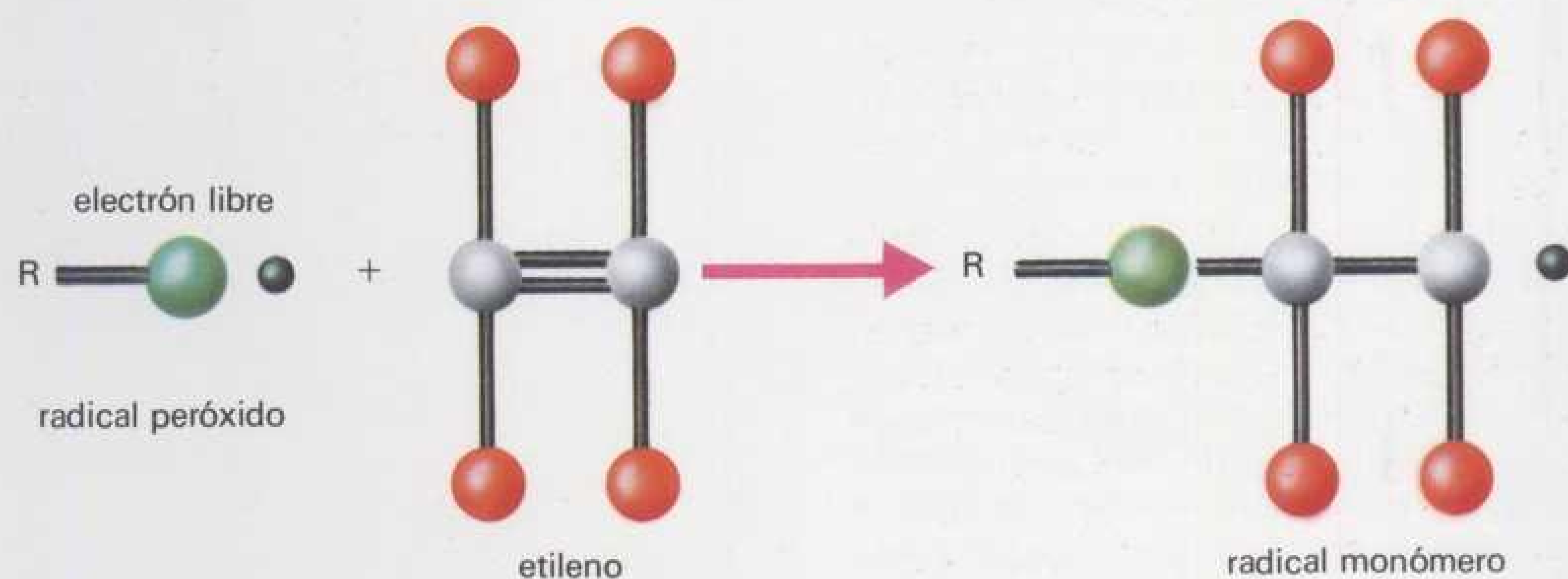
Una vez determinada la estructura geológica de la zona, se realiza una serie de perforaciones en puntos y niveles adecuados. Así se puede llegar, mediante el estudio de los testigos extraídos de roca y de los fósiles que contienen (a la izquierda), a una delimitación de la zona donde puede hallarse el petróleo. La hipótesis más aceptada hoy en día sobre su origen es que deriva de la acción bioquímica ejercida sobre las materias grasas y sobre los albuminoides de origen animal y vegetal contenidos en acumulaciones de microorganismos planctónicos muertos y recubiertos por otros sedimentos.

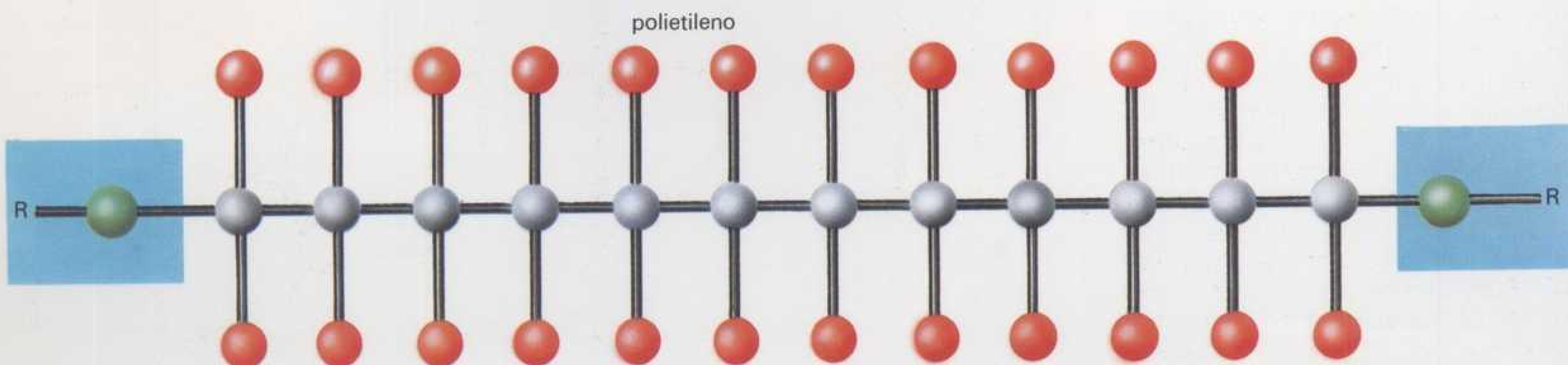
como las arenas asfálticas o las pizarras bituminosas. Por otro lado, se valora cada vez más el futuro papel del gas natural, o metano, cuyas reservas parecen prácticamente ilimitadas. Quizá la energía alternativa más importante del futuro sea, a largo plazo, la energía nuclear de fusión, cuyo control por el hombre alterará a buen seguro las formas de vida de la Humanidad.

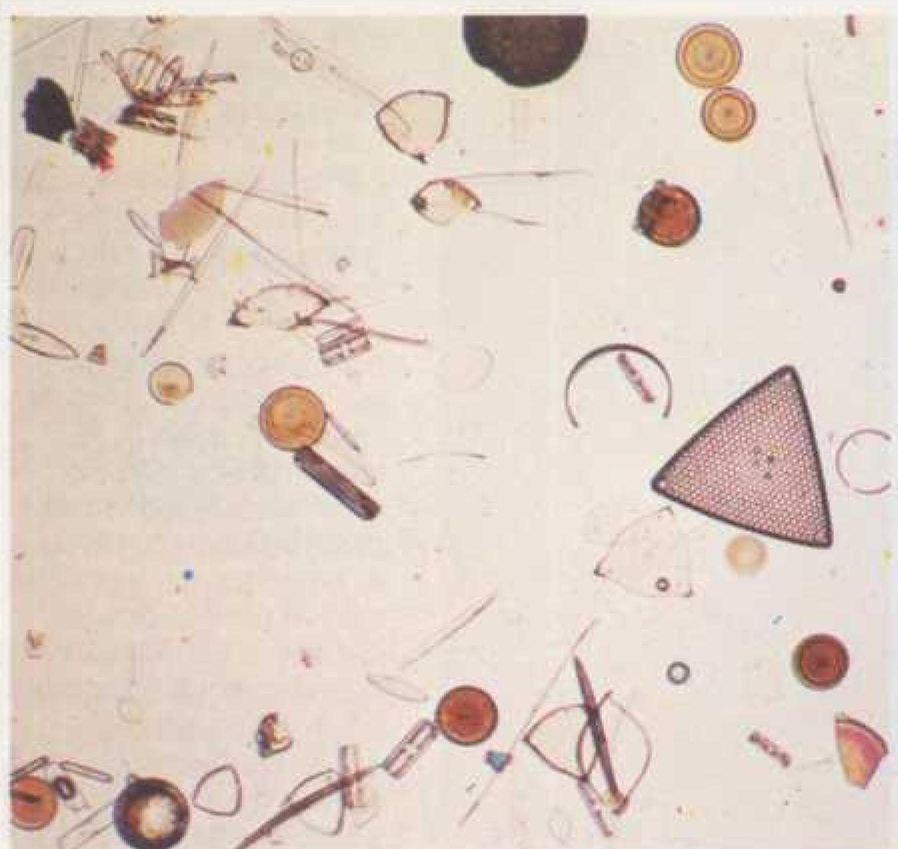
Geología del petróleo Aunque se han formulado numerosas hipótesis sobre el origen del petróleo, parece seguro que tanto el petróleo como el gas natural derivan de la descomposición de sustancias orgánicas —plantas y animales— en un ambiente geológico particularmente reductor. Los hidrocarburos que forman el petróleo crudo, y que son compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, son muy similares a los que constituyen los organismos vivos. De todas formas, no se descarta que una pequeña parte del petróleo y del gas natural pueda tener su origen en procesos inorgánicos, mediante reacciones químicas ocurridas a mayores profundidades, dentro de la corteza terrestre.

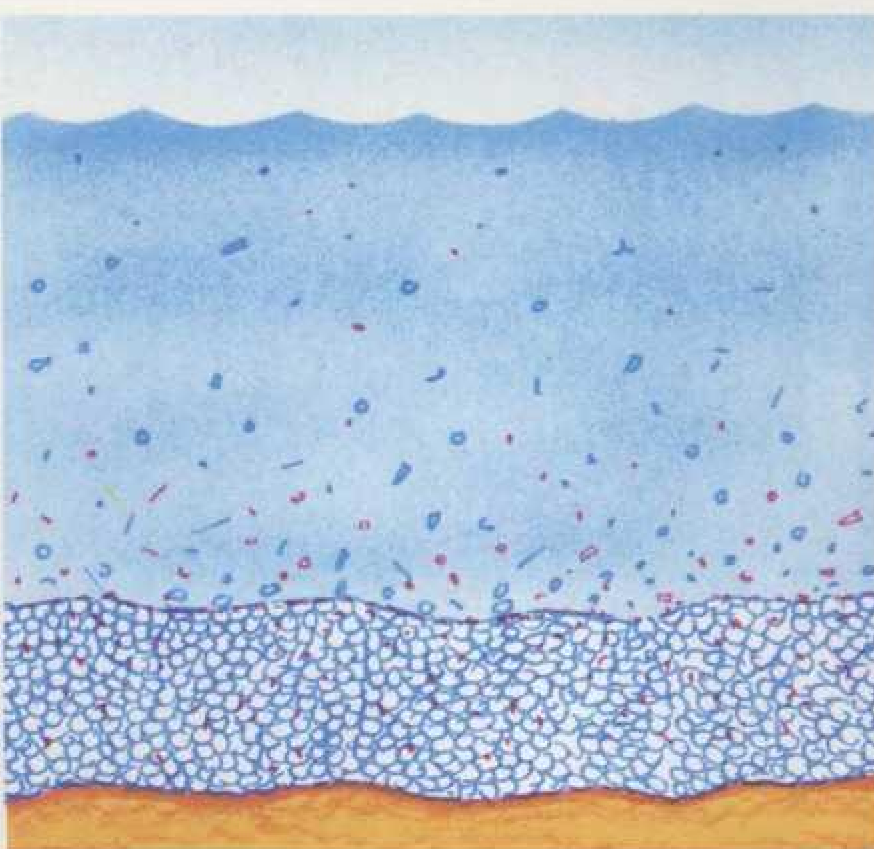
El petróleo crudo es un líquido de color variable —amarillo, rojo, pardo, verde oscuro o negro— y de viscosidad también variable, aunque normalmente alta. En el origen, junto con la materia orgánica (en su mayor parte, acumulaciones de plancton marino), también se depositan arcillas y limos. Con el tiempo, este sedimento, rico en carbono e hidrógeno, va quedando enterrado bajo numerosos sedimentos, de manera que la presión y el calentamiento producidos por la carga suprayacente completan el proceso de putrefacción bacteriana, que acaba formando los hidrocarburos. El sedimento o roca donde ha tenido lugar este proceso se denomina *roca madre*. En ella permanece el hidrocarburo hasta que, generalmente por la presión ejercida por el peso de los sedimentos que la cubren, se produce su migración hacia zonas donde la presión hidrostática es menor. En esta migración los hidrocarburos son transportados, en forma de dispersión coloidal, por el agua que escapa de la roca madre y se acumulan en las llamadas *rocas almacén*, formaciones rocosas porosas y permeables, tales como areniscas o calizas muy fracturadas. La acumulación exige, además, la existencia

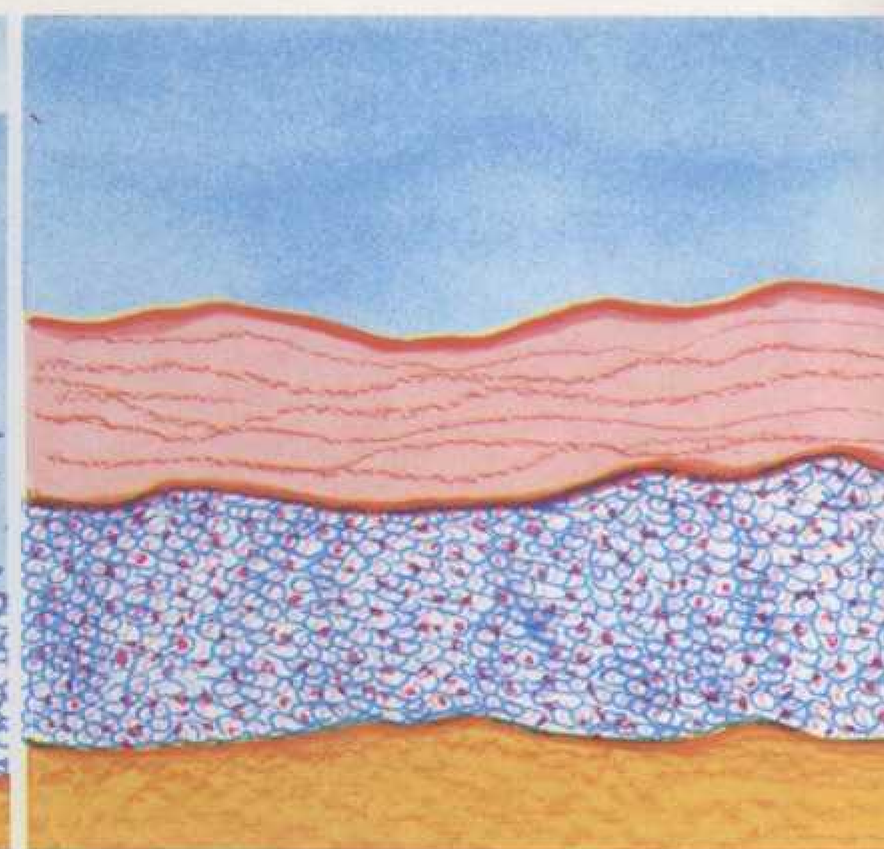
Para la detección y explotación de un yacimiento petrolífero se realizan sondeos mediante el empleo de torres de perforación por rotación o percusión (en el centro de la página anterior). El primer sistema es con mucho el más empleado. La perforación del terreno avanza mediante la rotación de una broca de forma especial y gran dureza, que está unida a la torre mediante un varillaje de acero hueco. Como la posible presencia de hidrocarburos está ligada a las condiciones geológicas de la zona estudiada, en la búsqueda de un yacimiento se realizan varias prospecciones previas de tipo geofísico.











de un sello impermeable que impida el escape del petróleo de la roca almacén. Este sello lo constituyen, por lo general, rocas de tipo arcilloso de muy baja permeabilidad. Las diferentes configuraciones geológicas que permiten la acumulación de hidrocarburos en una roca almacén se denominan *trampas petrolíferas.*

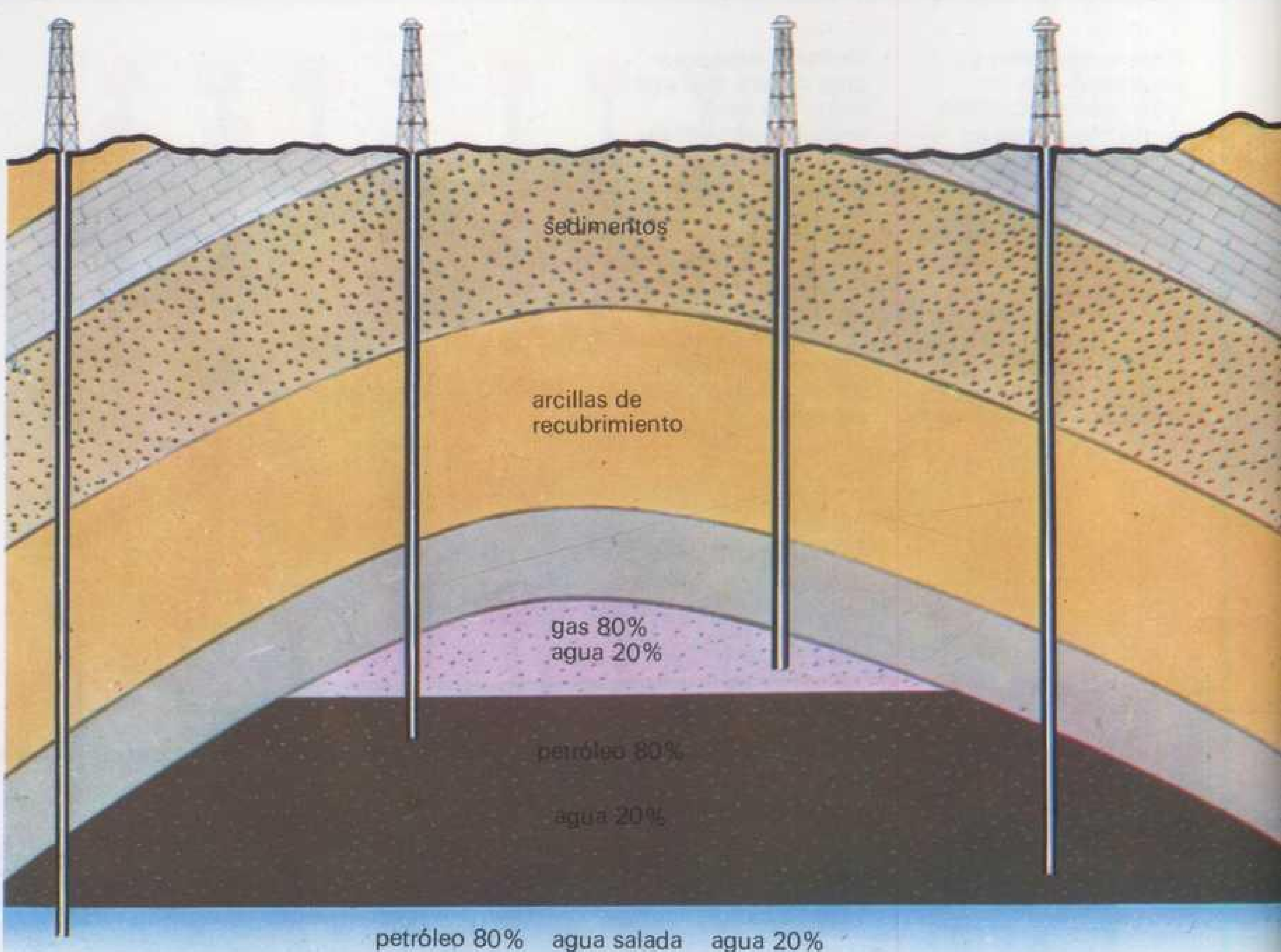
La prospección petrolífera se realiza casi siempre en regiones de rocas sedimentarias, únicas con probabilidad de contener petróleo. Luego, los geofísicos y los geólogos estudian las estructuras tectónicas y las sucesiones de estratos para localizar posibles trampas y rocas almacén. No obstante, sin perforar, es imposible afirmar si una estructura es apta para constituir una trampa o si contiene o no petróleo.

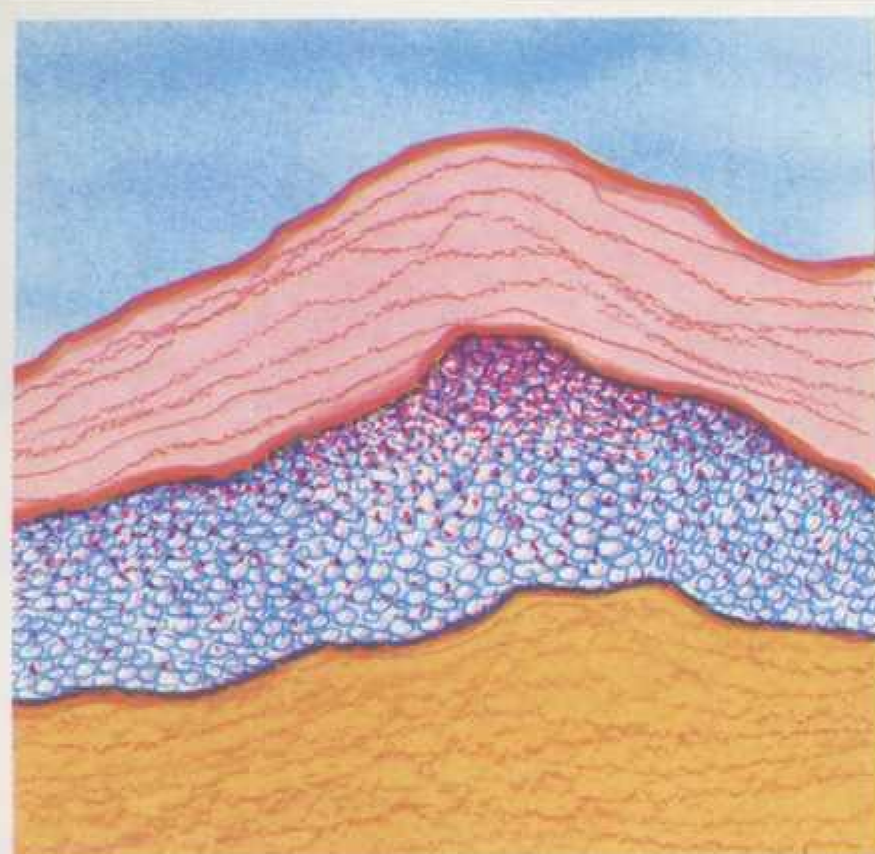
Perforación, extracción, refino y transporte Localizada la trampa, comienza el proceso de sondeo o perforación del terreno hasta llegar a la bolsa. Con este fin se utilizan tubos que, empalmados unos con otros, pueden alcanzar grandes profundidades. En el extremo de esos tubos viaja una broca perforadora provista de dientes muy duros. Todo ese conjunto de varillaje y broca se suspende de una polea móvil situada en una torre de acero. Técnicamente existen diversos *sistemas de perforación* de un pozo petrolífero, pero el más corriente es el de rotación. En este sistema, el varillaje se hace girar mediante un motor eléctrico que acciona la llamada mesa de rotación situada en la parte inferior de la torre. Este movimiento de rotación es el responsable de que la broca avance hacia profundidades cada vez mayores.

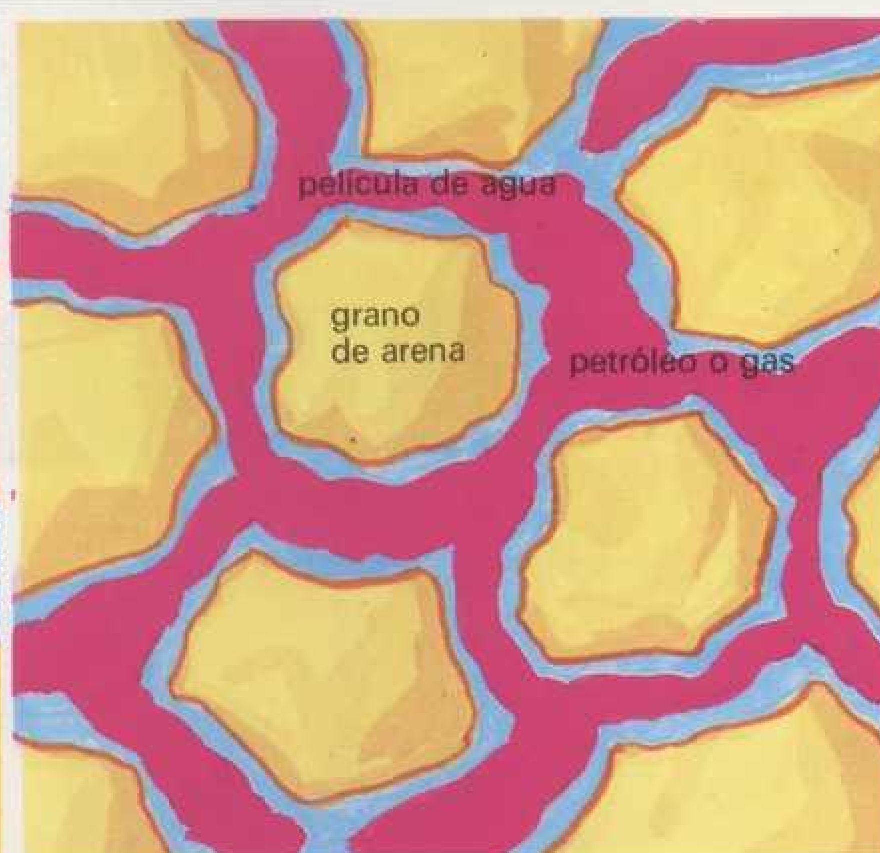
Una vez alcanzado el petróleo, los técnicos proceden a realizar pruebas de producción mediante las cuales pueden medir el caudal de producción y las variaciones de presión. El petróleo recogido es analizado y se evalúa el porcentaje de gas que contiene. El conocimiento de todos estos factores es indispensable para determinar la rentabilidad de la explotación. Una vez evaluada la rentabilidad de la bolsa petrolífera, comienza el proceso de extracción, que puede ser natural o artificial. La extracción natural se produce cuando la bolsa de petróleo se encuentra a sobrepresión, lo que permite que éste ascienda espontáneamente por el interior del varillaje de sondeo. Si no sucede así, se inyecta agua a presión a través del varillaje, de manera que ésta obligue al petróleo a elevarse hasta alcanzar la superficie.

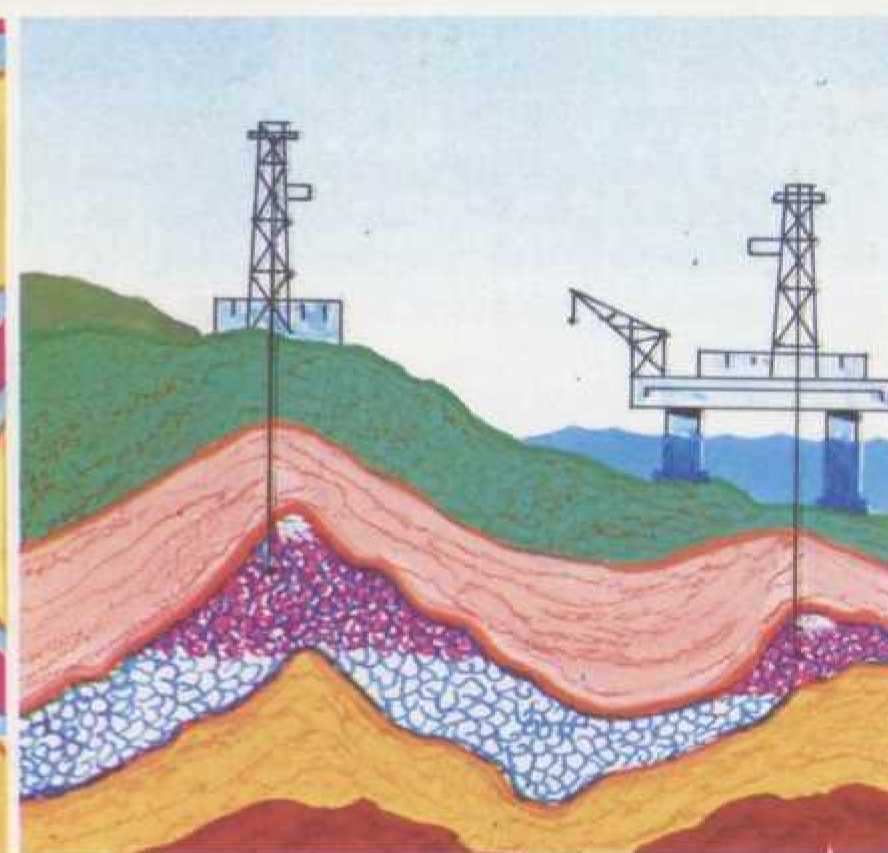
El petróleo crudo debe someterse a un proceso de elaboración llamado *refino*, por lo que debe ser transportado hasta las refinerías, que en ocasiones se encuentran a miles de kilómetros de distancia. Dicho transporte se realiza mediante oleoductos o con la ayuda de grandes barcos petroleros dotados de enormes depósitos capaces de almacenar miles de toneladas. En la refinería tiene lugar un complejo proceso de destilación para separar del

Durante miles de años, la materia orgánica acumulada en las cuencas sedimentarias junto a limos y arcillas va poco a poco transformándose en petróleo y metano. Este fenómeno va ligado al soterramiento de estos sedimentos y al consiguiente aumento de la presión y de la temperatura sobre ellos. Los hidrocarburos así formados migran, junto con el agua contenida en la roca madre, sometida a fuertes presiones, hacia los estratos superiores hasta encontrar un nivel de rocas impermeables que impida su posterior ascensión, disponiéndose, por efecto de la gravedad, según pesos específicos crecientes (arriba). Existen diferentes tipos de yacimientos según que el "cierre" del depósito sea debido a trampas estructurales, tales como pliegues anticlinales (caso de la figura inferior) o fallas, o a trampas estratigráficas, caso de un lentejón de arenisca porosa rodeada de arcillas impermeables.









petróleo crudo los distintos componentes que lo forman. En hornos especiales se calienta el petróleo crudo hasta alcanzar la temperatura de unos 400 °C, a la que la mayor parte del petróleo se transforma en vapor. La mezcla de líquido y vapores se hace pasar por una *columna de fraccionamiento*, depósito dividido en varios pisos o compartimentos. Los vapores de petróleo se van enfriando al ascender por la columna; ese enfriamiento da lugar a que en cada uno de los pisos vayan condensándose los distintos compuestos (gasóleo, queroseno, nafta, gasolina, etc.), cada uno de los cuales posee una temperatura específica de licuefacción.

Las arenas asfálticas y las pizarras bituminosas Las arenas asfálticas son una mezcla de arena, arcilla y aceite pesado que se explota a cielo abierto. Son untuosas al tacto y tanto su olor como su color recuerdan el asfalto. Estas arenas tienen un contenido en betún de un 18% aproximadamente, y a partir de ellas se pueden obtener, mediante determinados procesos, un gran número de hidrocarburos de muy diversa utilidad industrial. Para ello, la arena asfáltica se transporta hasta una instalación industrial donde se trata con agua caliente, vapor y aditivos químicos; posteriormente se deposita en una cámara de separación, donde, por efecto de la diferencia de densidad, los productos resultantes se estratifican, ocupando el betún la capa superior. Después, el betún se somete a un proceso de hidrogenación, obteniéndose así los hidrocarburos.

Otra fuente de petróleo sintético importante son las pizarras bituminosas. El proceso de extracción es similar al de las arenas asfálticas. Las rocas son extraídas a cielo abierto y trituradas *in situ*. Después son calentadas a 480 °C y tratadas químicamente. El resultado es queroseno que, a elevada temperatura, se fracciona en varios productos, uno de los cuales es una especie de petróleo sintético para ser destilado y refinado.

No obstante, la explotación de los llamados petróleos sintéticos como solución al problema energético y como alternativa al agotamiento de los recursos petrolíferos constituye todavía materia de investigación, dado los problemas técnicos que se plantean y, sobre todo, las enormes inversiones que requiere.

Véase **Energía, fuentes de; Gasolina; Hidrocarburos; Oleoducto; Perforación petrolífera; Refino del petróleo**

Una vez extraído, el petróleo crudo es transportado a las refinerías. Para ello, se utilizan grandes redes de oleoductos o superpetroleros dotados de gigantescos depósitos que deben mantenerse a determinadas presiones con el fin de garantizar la máxima seguridad (abajo).

Petroquímica

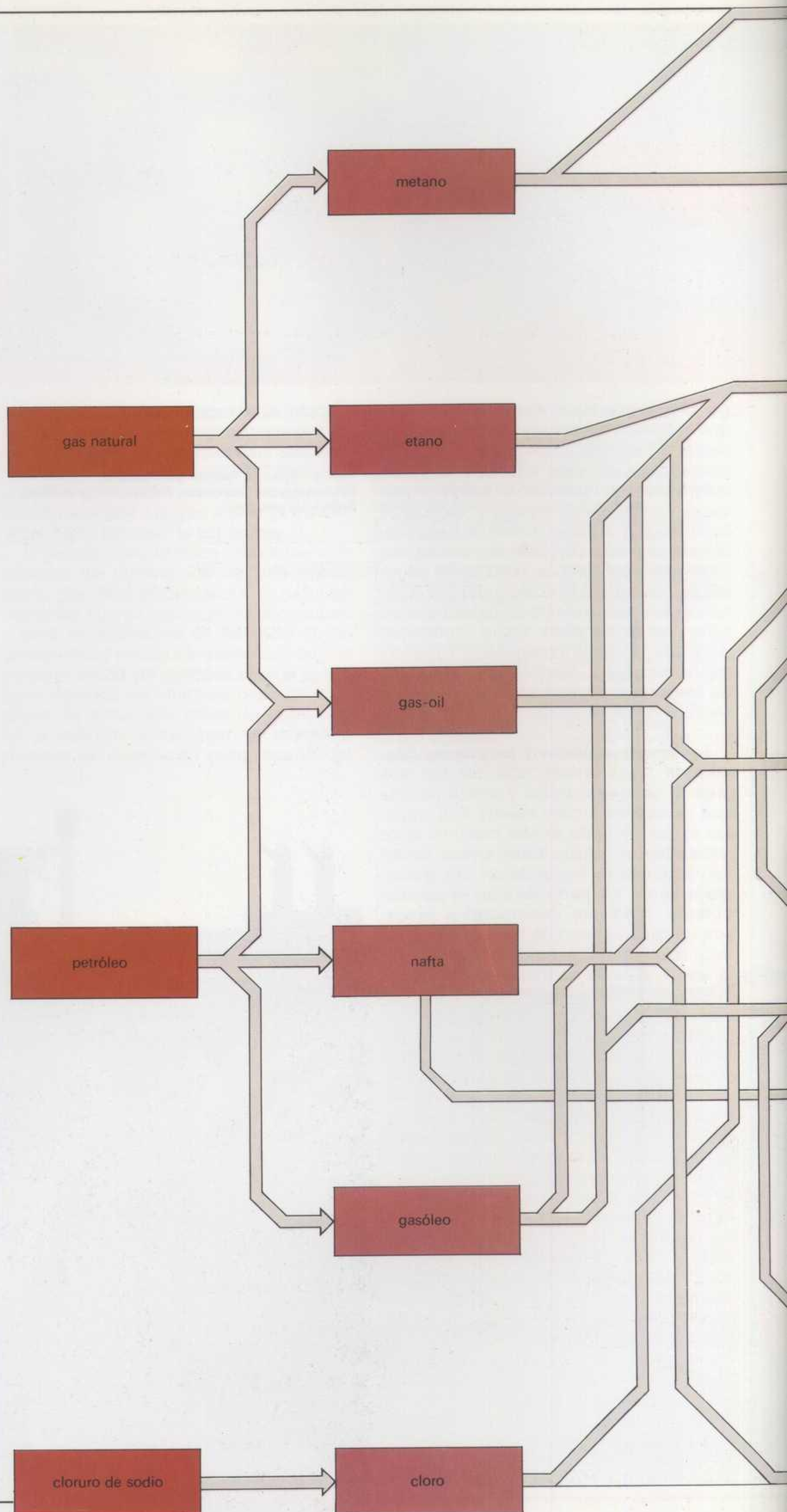
Es difícil imaginar cómo sería la civilización moderna sin los productos petroquímicos. Muchos de los objetos y sustancias que nos rodean son derivados del petróleo bruto: las materias plásticas, los fertilizantes, los medicamentos, la goma sintética y muchos otros productos de uso común.

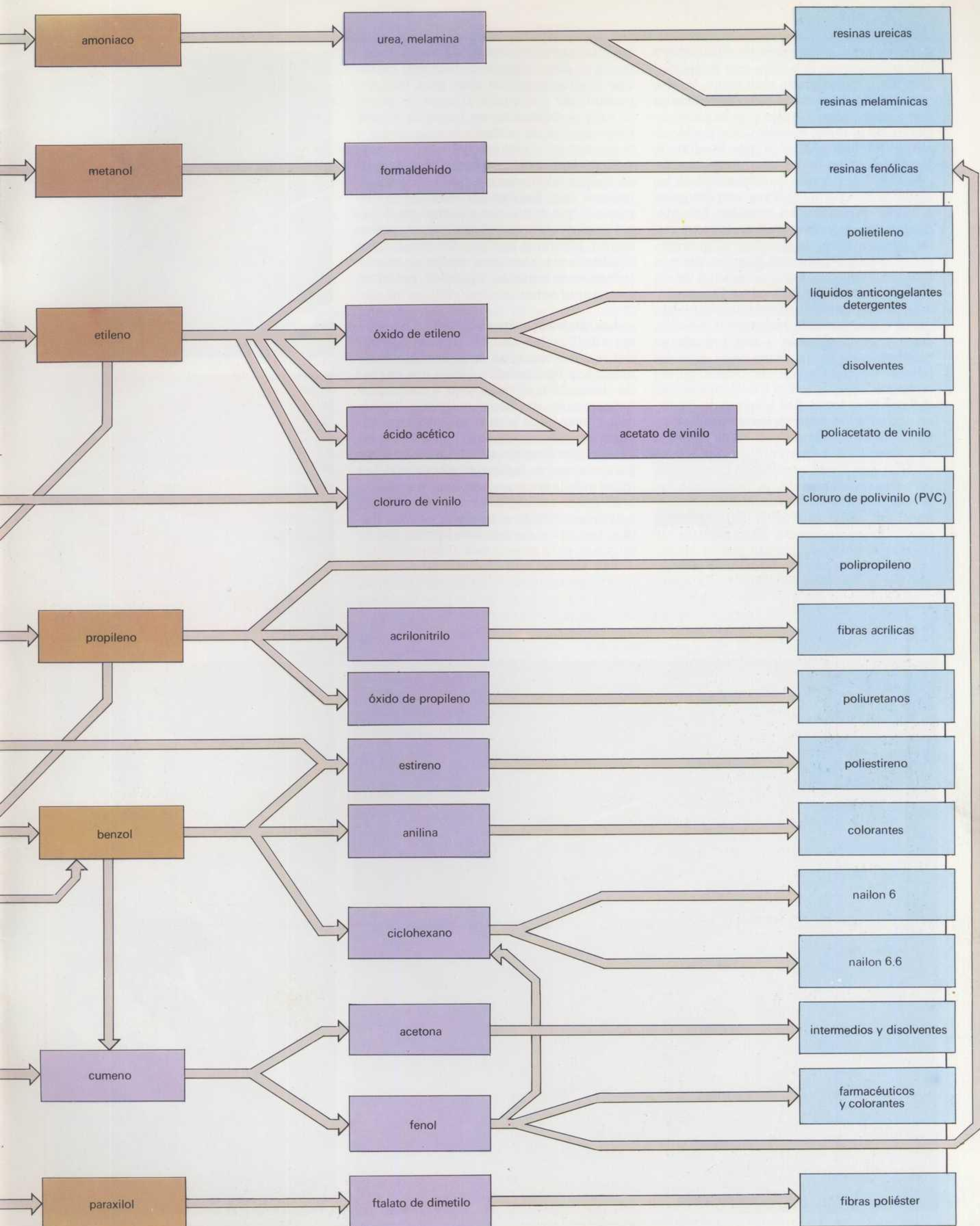
La *petroquímica* es aquella parte de la química industrial que trata de los productos orgánicos derivados del petróleo y de sus sistemas de elaboración.

El petróleo bruto El petróleo bruto es un combustible fósil cuyo origen se encuentra en la materia orgánica que, hace más de seiscientos millones de años, antes del período Cámbrico, quedó enterrada bajo enormes capas de arenas sedimentarias, fangos y limos. El petróleo está constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos diversos, cuya composición puede variar sensiblemente de un lugar a otro. Algunos de estos hidrocarburos, como el metano (CH_4), están constituidos por pocos átomos y son gaseosos a la temperatura ambiente. Otros, como el decano ($C_{10}H_{22}$), son más pesados y menos volátiles. A temperaturas no muy elevadas algunos son gaseosos, como el propano, mientras que otros son sólidos, como la parafina y los asfaltos, constituidos por mezclas de hidrocarburos superiores (de muchos átomos de carbono). El petróleo es una mezcla de varios hidrocarburos de diversa masa molecular. Algunos tipos de petróleo, como el bruto ligero argelino Hassi-Messaoud, están constituidos en su mayor parte por hidrocarburos ligeros, componentes de las gasolinas y de los querosenos. Tales petróleos son poco viscosos, es decir, pueden fluir fácilmente. En cambio, el petróleo bruto pesado de Venezuela posee una viscosidad elevada y fluye con dificultad a una temperatura elevada: es un petróleo de tipo asfáltico.

Para transformar el petróleo bruto en los distintos productos comerciales se debe, en primer lugar, proceder a la separación de los diversos hidrocarburos que lo componen.

La primera fase para llevar a cabo tal separación consiste en la destilación del crudo. A medida que se va aumentando la temperatura, los diversos compuestos se evaporan sucesivamente, y pueden ser por tanto recogidos por separado. En las refinerías, el proceso de destilación se realiza de forma continua en las columnas de fraccionamiento, grandes depósitos verticales, con varios pisos o compartimentos que contienen en su interior los platos para el fraccionamiento de los hidrocarburos. Al calentar el petróleo en la base de la torre a una temperatura elevada, los vapores ascienden atravesando los platos que están situados de forma escalonada. Los vapores, en realidad, son recogidos por una especie de campana que lleva cada plato, donde algunos quedan condensados mientras que el resto borbotea y suben al plato siguiente.





amoniaco
urea, melamina
resinas ureicas
resinas melamínicas
metanol
formaldehído
resinas fenólicas
polietileno
líquidos anticongelantes
detergentes
etileno
óxido de etileno
disolventes
ácido acético
acetato de vinilo
poliacetato de vinilo
cloruro de vinilo
cloruro de polivinilo (PVC)
polipropileno
propileno
acrilonitrilo
fibras acrílicas
óxido de propileno
poliuretanos
estireno
poliestireno
benzol
anilina
colorantes
nailon 6
ciclohexano
nailon 6.6
acetona
intermedios y disolventes
cumeno
farmacéuticos
y colorantes
fenol
paraxilol
ftalato de dimetilo
fibras poliéster

Puesto que cada plato se encuentra a una temperatura más baja que la del plato precedente, situado más abajo, los vapores de los hidrocarburos más ligeros se condensan sobre los platos de la parte superior de la torre, mientras que los vapores de los hidrocarburos más pesados lo hacen sobre los platos inferiores. Los diferentes hidrocarburos, condensados en los distintos niveles de la torre, son extraídos a través de conductos laterales. Los productos líquidos obtenidos en la torre son, de arriba a abajo, la gasolina, el queroseno, el gasóleo ligero, el gasóleo pesado, los lubrificantes (y algunas ceras) y los residuos (generalmente alfalto). En los últimos platos también se recogen hidrocarburos gaseosos que posteriormente se licúan y se almacenan a alta presión en bombonas de acero, como es el caso del butano. La destilación, sin embargo, no consigue separar todos los componentes del petróleo bruto. Por ejemplo, la gasolina obtenida en estas torres de destilación no es un compuesto puro: es en realidad una mezcla de heptano (C_7H_{16}) y octano (C_8H_{18}), con algún resíduo de otros hidrocarburos. No obstante, la destilación representa un modo seguro, eficaz y económico de obtener varios hidrocarburos muy útiles, en concreto, los combustibles. Un mayor grado de pureza puede conseguirse sometiendo las fracciones destiladas a una sucesiva destilación o a métodos de purificación más sofisticados.

El *craking*, o craqueo, térmico es un proceso que permite romper las moléculas más largas y pesadas de los hidrocarburos en dos o más moléculas más cortas. Los aceites combustibles más pesados pueden ser sometidos al *craking*, dando lugar a la formación de gasolina. El *craking* térmico se realiza a temperaturas y presiones muy elevadas.

El *craking* catalítico es un proceso que se realiza en presencia de ciertos catalizadores que facilitan las reacciones químicas y que conducen a la ruptura de las moléculas; como catalizadores se suelen utilizar platino y arcillas. Al actuar como catalizadores, tales compuestos no se consumen en la reacción y pueden, por tanto, usarse nuevamente.

Los derivados del petróleo Los aceites lubrificantes son elaborados a partir del residuo obtenido de la destilación atmosférica. Este residuo pasa a una unidad de destilación al vacío y es tratado, posteriormente, mediante propano líquido (disolvente), con lo cual se produce la separación de la parafina. Finalmente, los aceites lubrificantes sufren un tratamiento para mejorar su índice de viscosidad. Los tipos más ligeros se emplean para la lubrificación de máquinas delicadas en climas fríos, debido a que son aceites fluidos. Los tipos de más alta viscosidad se emplean para engranajes al descubierto.

Las grasas son aceites lubrificantes muy espesos debido a la adición de jabones de aluminio, calcio, litio o sodio, o bien de sustancias como carbón, gel de sílice o polietileno.



Montedison, Brindissi





ANIC - San Sonato Milanese



Los disolventes de Stoddard son destilados a partir del petróleo y usados en la industria de las pinturas y en el lavado en seco. Estos productos son sometidos a un proceso de refinación reiterada para eliminar su característico olor desagradable que los haría no aptos para la limpieza de la ropa.

El negro de humo es un compuesto químico usado por el hombre en sus manifestaciones artísticas desde la edad de las cavernas; se han encontrado, en efecto, restos de este producto en algunas pinturas prehistóricas.

Antiguamente para la obtención del negro de humo se recurría a la combustión incompleta de las grasas; hoy se obtiene por combustión del gas natural. Está constituido por carbono puro y se emplea en la producción de tintas para imprimir, de barnices y de neumáticos.

Otros productos obtenidos del petróleo bruto En los depósitos de petróleo bruto se encuentran, a veces, bastantes derivados del azufre. El azufre obtenido de tales compuestos es utilizado en las industrias químicas. En los yacimientos petrolíferos de América del Norte no es rara la obtención de helio, cuya extracción es llevada a cabo con gran meticulosidad dado su elevado valor comercial: el helio se separa de los gases naturales que se desprenden en los pozos petrolíferos. El helio se emplea para accionar las bombas usadas en los cohetes y en determinados tipos de soldadura de los globos sonda.

Los derivados petroquímicos Aunque todos los productos descritos anteriormente derivan directamente del petróleo y pueden, por tanto, denominarse petroquímicos, existe también otra categoría de productos petroquímicos, llamados secundarios, obtenidos a partir de los hidrocarburos del petróleo bruto. Los átomos de carbono e hidrógeno de las cadenas de hidrocarburos se unen, en efecto, según varias modalidades y cada variación en la disposición de los átomos en las moléculas produce un nuevo compuesto hidrocarbúrico con diferentes características químicas y físicas.

Cada vez que los químicos, partiendo de compuestos derivados del petróleo bruto, introducen modificaciones, obtienen derivados petroquímicos. De los compuestos aromáticos, que contienen uno o más anillos aromáticos (o bencénicos) en la molécula, se puede obtener muchos productos, entre ellos algunos muy comunes como la aspirina, la vainillina —usada como aromatizante—, la hidroquinona —empleada en fotografía—, y la novacaína —un anestésico local.

Los compuestos hidrocarbúricos pueden reaccionar con el oxígeno y con otros átomos para crear nuevos compuestos. Algunos de estos compuestos llegan a formar cadenas muy largas de átomos. Entre ellos se encuentran los *polímeros*, que son productos básicos en la industria de las materias plásticas, de la goma y de las fibras sintéticas (como el nailon y las fibras de poliéster y acrílicas).

Existen más de diez mil productos petroquímicos que se emplean en un gran número de sectores, entre los que destacan los dedicados a la producción de disolventes, abonos, colorantes, explosivos, fibras sintéticas, plásticos, cauchos sintéticos, etcétera.

Utilización de los productos petroquímicos en la vida cotidiana La actividad desarrollada por la industria petroquímica se encuentra entre las más importantes y extendidas en todo el mundo. Productos indispensables para el automóvil y fáciles de adquirir como la gasolina, el aceite, los lubrificantes y los neumáticos, son derivados de la actividad petroquímica. En los más perdidos parajes del mundo se venden tejidos de nailon o fibra acrílica, detergentes y artículos de materia plástica. Muy pocas industrias tienen tanta influencia en nuestra vida cotidiana y han modificado tan a fondo el estándar de vida como la petroquímica.

Véase **Alcoholes; Etileno y polietileno; Gas-oil; Hidrocarburos; Hidrocarburos sintéticos; Lubrificantes; Petróleo; Pinturas y barnices; Planta química; Plásticos; Polímeros; Polímeros fluorados; Refino del petróleo**

El excepcional desarrollo de la industria petroquímica está unido al rápido crecimiento de nuevos productos, como los fertilizantes sintéticos, las materias plásticas y los detergentes sintéticos. La aplicación de los productos derivados de las elaboraciones petroquímicas abarca todas las actividades de nuestro vivir cotidiano. El ciclo de las transformaciones petroquímicas para la obtención de tales productos está dominado por los procesos industriales de *cracking* de la nafta y del gasóleo, mediante los cuales se obtienen los dos productos intermedios, etileno y propileno. Estos son la base de una extensa serie de productos entre los que se encuentran las más importantes materias plásticas (polietileno, PVC, polipropileno y poliestireno) empleadas en las más variadas aplicaciones, desde los artículos para mobiliario y decoración a las manufacturas y componentes destinados a la industria automovilística, pasando por los artículos sanitarios, envases para alimentos, bolsas de plástico, tubos rígidos y flexibles, etcétera.



Mopiefan - Montedison

pH, acidez y basicidad

Las estalactitas, las estalagmitas y otras conocidas formaciones naturales que se encuentran en las cavernas o en las grutas subterráneas se formaron, en el transcurso de los siglos, por la deposición del ácido presente en el agua que gotea del techo de las cavernas. El dióxido de carbono contenido en el aire se disuelve en el agua, formando ácido carbónico que a su vez disuelve la caliza en forma de bicarbonato de calcio. Al evaporarse el agua que gotea en las grutas va quedando un resto sólido de caliza, formándose así las estalactitas y las estalagmitas.

La acidez o, viceversa, la alcalinidad de una sustancia se suelen medir en términos de una escala de pH —introducida en 1909 por el químico danés Sörensen—, que va de 0 a 14. La grafía pH deriva de las iniciales de *potencial de hidrógeno*, ya que el pH varía de forma lineal con el potencial de un electrodo de hidrógeno introducido en una disolución.

Acidos y bases Los ácidos son sustancias químicas dotadas de propiedades características. Un metal depositado en un baño ácido es corroído químicamente mientras se desprenden burbujas de hidrógeno gaseoso. Esto se debe a que los ácidos son compuestos que contienen el ion hidrógeno. Los metales ceden un electrón al ion hidrógeno contenido en el ácido y éste se desprende en forma de burbujas.

Cuando un ácido está disuelto, el hidrógeno que contiene se halla disociado en forma de iones. Estos adquieren una carga eléctrica porque han perdido un electrón. En general, cuando un átomo pierde un electrón, como el caso del hidrógeno en una solución ácida, se convierte en un ion positivo o *catión*. Un catión de hidrógeno se escribe simbólicamente H^+, y se llama ion hidrógeno o hidrogenión.

Las *bases* son sustancias que neutralizan los ácidos. Muchas bases contienen un ion oxhidrilo dotado de carga negativa, y formado por oxígeno e hidrógeno. Se escribe OH^-. Los iones negativos se denominan *aniones*. Las bases débiles, como el bicarbonato de sodio, tienen un característico sabor alcalino. Las bases reaccionan con los ácidos para formar las sales.

El agua destilada más pura disponible en un laboratorio químico es neutra, es decir, ni ácida ni alcalina y está formada por iones H^+ y OH^-. En el agua los cationes hidrógeno, dotados de carga positiva, neutralizan los aniones oxhidrilos, dotados de carga negativa. Por ello, el agua no es ni ácida ni básica, sino neutra.

Medida y expresión del pH La escala de pH fue establecida, como ya hemos dicho, por Sörensen, con el fin de expresar de forma sencilla la concentración de iones H^+ de una disolución. Así, pruebas realizadas con el agua destilada han demostrado que contiene el mismo número de iones H^+ que de iones OH^-.

Según Sörensen, el pH del agua pura es 7 y corresponde al exponente, cambiado de signo, de la potencia en base 10 que expresa la concentración de los iones H^+ en moles por litro. Más rigurosamente, el *pH* se define como el logaritmo con signo cambiado de la concentración de iones H^+. Un mol equivale a la masa atómica o molecular del ion (aquí atómica), pero expresada en gramos: un mol de H^+ equivale a 1,008 g de este ion.

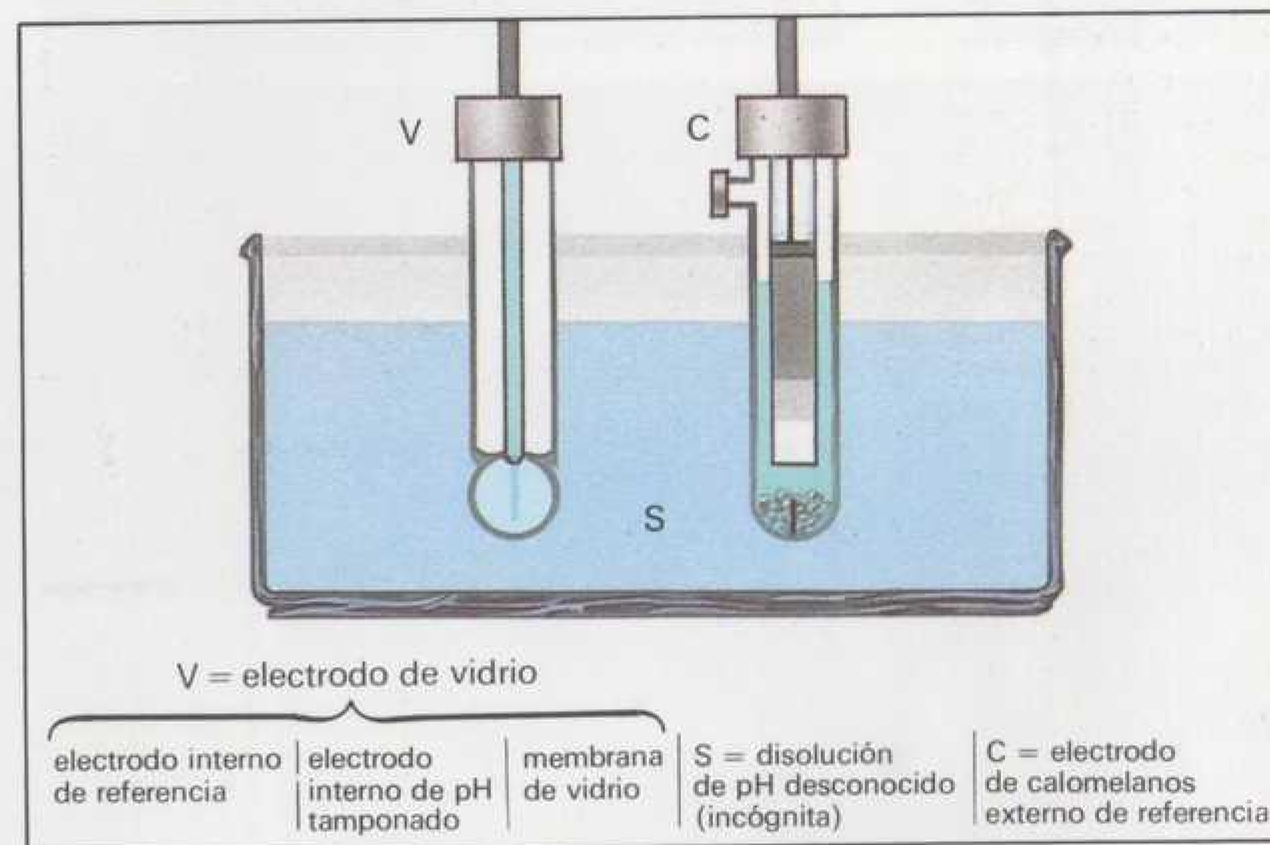
El pH de las disoluciones ácidas oscila entre 7 y 0, siendo la disolución más ácida la de menor pH. En las disoluciones básicas o alcalinas, el pH oscila entre 7 y 14, correspondiendo el pH = 14 a la disolución más alcalina.

Entre las sustancias más ácidas se encuentran los ácidos yodhídrico, peryódico y clorhídrico. La acidez aumenta con la

A la derecha, foto de un pH-metro ("peachímetro") unido a un indicador automático de valoraciones. Con dicho aparato se puede medir el pH de una disolución, o bien determinar el punto de equivalencia en la valoración o determinación volumétrica de una sustancia. El volumen de la disolución problema que ha de valorarse se mide con una pipeta y se lleva al matraz de valoración. En la bureta automática, a la derecha de la fotografía, se introduce el reactivo cuyo pH se conoce perfectamente. El reactivo se deja caer gota a gota sobre el matraz de valoración, donde están inmersos los electrodos, hasta que se alcanza el punto de equivalencia, y el proceso se detiene automáticamente.



La medida del pH es un proceso electroquímico que consiste en la determinación de la fuerza electromotriz (F.E.M.) de una pila de concentración cuyo electrolito contiene hidrogeniones. La F.E.M. es proporcional a la concentración y, por tanto, al pH. Se usan en la práctica medidas de comparación en una celda con dos semielementos, o electrodos, uno de referencia, como se ve en la figura junto a estas líneas. El electrodo de vidrio de medida está formado por una membrana con una disolución tampón y un electrodo de referencia interno. La F.E.M. se mide por comparación con el electrodo de calomelanos (C) de referencia externa, que contiene una pasta de cloruro mercurioso, (calomelanos) y mercurio en un baño de cloruro de potasio, que da una F.E.M. constante. El pH se lee directamente sobre el →



VALORES DEL pH DE ALGUNAS SOLUCIONES TAMPONES ESTANDAR

Soluciones (m = molalidad)	Temperatura °C			
	20	25	30	38
Tartrato ácido de potasio (disolución saturada a 25 °C)	–	3,557	3,552	3,548
Ftalato ácido de potasio (0,05 m)	4,002	4,008	4,015	4,030
Fosfato monopotásico (0,025 m) y fosfato disódico (0,025 m)	6,881	6,885	6,853	6,840
Bórax (0,01 m)	9,225	9,180	9,139	9,081

concentración, siendo los ácidos más fuertes aquellos que se disocian más fácilmente dando iones H^+. En alguno de estos puede alcanzarse un pH = 0.

Las bases más fuertes son los hidróxidos de los metales alcalinos sodio y potasio. Disoluciones concentradas de estos hidróxidos alcanzan un pH 14. Algunas sustancias naturales ácidas y su pH respectivo son las siguientes: el vinagre, 2,25; el limón 2,35; la miel, 3,0; el jugo gástrico, 3-4; los tomates, 4,2; las zanahorias, 5,4-7; la saliva humana, 6; el salmón, 6,2; la leche de vaca, 6,6. Las gambas y el agua destilada son sustancias neutras con pH 7.

Entre las sustancias básicas o alcalinas se encuentran la orina humana, 7,3-7,4; el líquido cefalorraquídeo, 7,4; el agua de mar, 8,2; una disolución normal de bicarbonato de sodio, 8,4; la lechada de magnesia, 8,4; una disolución jabonosa, 10; una disolución normal de carbonato de sodio, 11,6; la leche de cal, 12,3.

Indicadores de pH Existen bastantes sustancias orgánicas que cambian el color cuando se ponen en contacto con una disolución ácida o básica y que, debido a esta propiedad, pueden ser utilizadas como indicadores del pH. Uno de los indicadores más utilizado es el papel de tornasol, que contiene sustancias extraídas de algunos líquenes. El color del papel en disolución neutra es gris azulado, pero se torna rosa en contacto con los ácidos y azul con las bases. Otro indicador es el p-nitrofenol: es incoloro para valores de pH inferiores a 5 y amarillo para valores superiores de pH. El naranja de metilo es amarillo en las disoluciones básicas, naranja en las neutras y de color rojo en disoluciones con pH inferior a 3,7. La fenolftaleína es incolora en disoluciones ácidas y neutras, y rosa para pH superior a 8,5. Estos y otros indicadores son cómodos y rápidos instrumentos que permiten la medida del pH incluso en el propio lugar donde se toma la muestra, como en los casos en que se desea medir el pH de aguas y de suelos.

Lluvias ácidas Las lluvias ácidas constituyen actualmente una preocupación mundial porque corroen los metales, destruyen el equilibrio de la Naturaleza y son muy peligrosas para la salud humana. En gran parte son causadas por el azufre de los carburantes que, al quemarse, desprenden dióxido de azufre, SO_2, que se mezcla con la lluvia y forma ácido sulfuroso. Si bien su acidez es muy débil, la lluvia ácida pone en peligro el equilibrio ecológico de la superficie terrestre. El ácido nítrico, formado en la atmósfera a partir de óxidos de nitrógeno generados en las tormentas y desprendidos por muchas fábricas de productos químicos, contribuye también a la lluvia ácida. Son los países industrializados los que en mayor medida contribuyen a este desorden ecológico, y serán también sus primeras víctimas si no se toman las medidas oportunas para corregirlo.

Véase **Acidos y bases; Análisis químico; Electrólisis; Ion; Pila galvánica**

→ instrumento. Para su contraste y ajuste se utilizan disoluciones tampón, como las de la tabla de la página anterior (abajo) de pH conocido. Estas disoluciones están formadas por la unión de un ácido débil y de su sal con una base fuerte o viceversa, y tienen un pH constante a una temperatura determinada.

A la derecha, una tabla de los indicadores de pH, sustancias orgánicas que cambian su estructura molecular y su color al reaccionar con distintas disoluciones. Esta variación en la estructura de la molécula del indicador está en función del pH del medio en que se encuentran. En general, los indicadores son ácidos débiles que en contacto con el agua se disocian en un anión y en hidrogeniones, en equilibrio con la forma no disociada. La adición de un ácido desplaza el equilibrio hacia la forma no disociada, que toma un color diferente. Así se efectúa el cambio. A su vez, la adición de una sustancia básica tiene el efecto opuesto, provocando un aumento de la forma disociada, llamada por ello básica, que adquiere otro color distinto. Como se observa en la tabla, escogiendo de forma oportuna los indicadores, es posible cubrir todo el intervalo de pH desde 0 a 12. Los indicadores se utilizan bien en disolución, bien impregnando una cinta de papel, como la de la fotografía superior, que es muy útil para análisis de control fuera del laboratorio.

pH	fuertemente ácido				débilmente ácido			neutro	débilmente básico			fuertemen básico	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1
violeta cristal													
tropeolina 00													
bencil-anilina-azobenceno													
naranja de metilo													
rojo de metilo													
paranitrofenol													
ácido rosólico													
naranja													
fenolftaleína													
timolftaleína													
tropeolina 0													
indicador universal													

	pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
papel indicador universal											

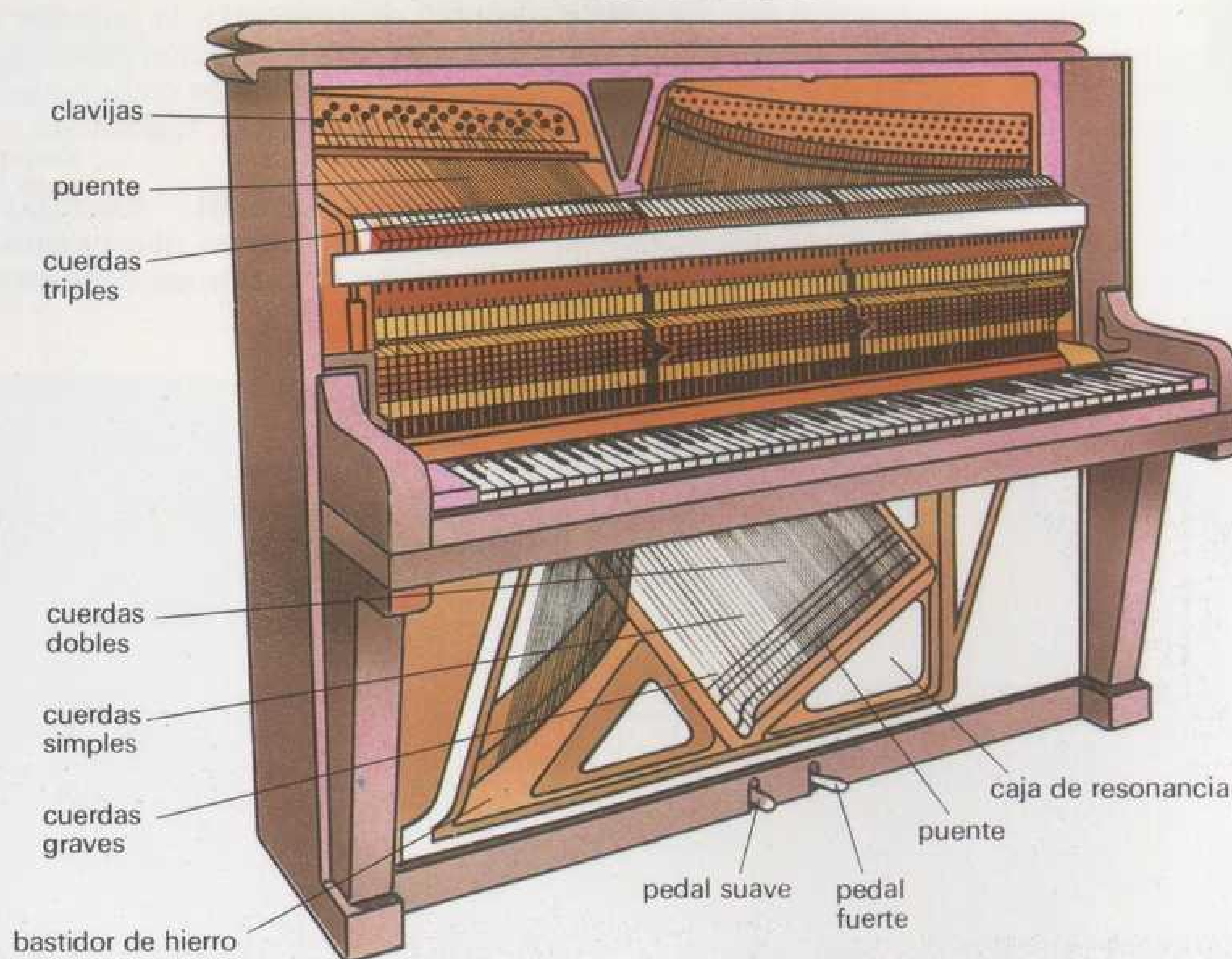
Piano

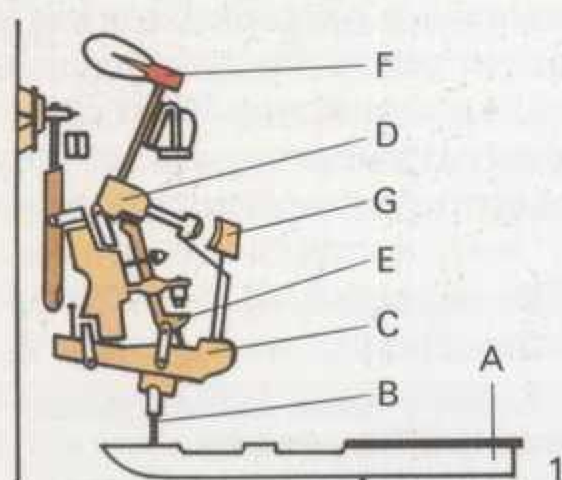
El piano, el más popular de los instrumentos de teclado, posee una extraordinaria gama de tonos e intensidades. Es usado como instrumento para concierto solista o bien como instrumento de acompañamiento del canto y de instrumentos de cuerda y de viento.

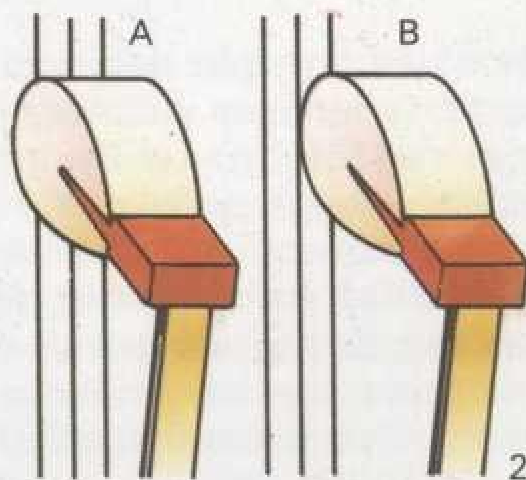
El precedente del piano actual se encuentra en el *gravicembalo col piano e forte* fabricado por Bartolomeo Cristofori, que trataba de realizar un instrumento de teclado, sobre el tipo del clavicordio, que pudiese producir una gama dinámica mucho más amplia. Terminó creando un instrumento musical completamente nuevo con una versatilidad inigualable y una gran finura de registro y de tonalidad. A diferencia del clavicordio, donde al pulsar la tecla un macillo metálico (plecto) golpea directamente las cuerdas, en el piano al pulsar las teclas se activan los martinetes o macillos de madera recubiertos de piel o de fieltro. Esta innovación mecánica supuso el descubrimiento de una dimensión tímbrica inédita, al poder graduarse la intensidad de los sonidos mediante la distinta fuerza con que se pulsase el teclado y la diversa vibración fónica del "piano" y del "forte".

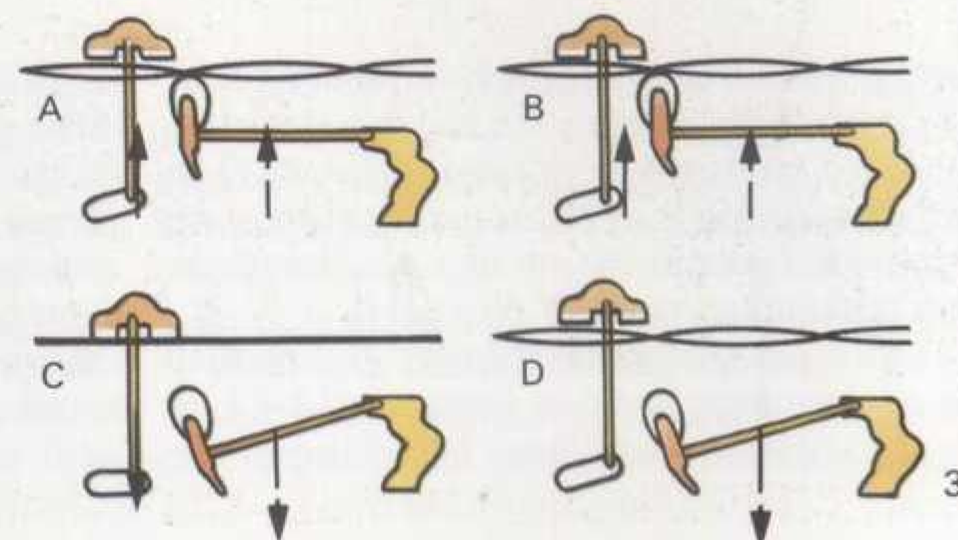
Las modificaciones aportadas sucesivamente al instrumento mantuvieron inalterado el principio mecánico de la percusión de las cuerdas mediante martinetes.

Partes del piano Un piano tiene cuatro partes principales: la caja (revestimiento externo de madera), el mecanismo (teclado, martinetes, amortiguadores, balancín y topes), el bastidor y los pedales. La *caja armónica* o de *resonancia*, construida en madera de abeto o de haya, amplifica y enriquece el sonido producido por la vibración de las cuerdas. El *mecanismo* constituye la parte fundamental del piano. Un piano común tiene alrededor de 230 cuerdas de alambre de acero, cada una de las cuales está afinada para obtener un determinado sonido. Las cuerdas son golpeadas por los martinetes que, a su vez, se accionan pulsando las 88 teclas negras y blancas, separadas o en grupos de 2 ó 3. La longitud, la tirantez y el diámetro de las cuerdas determinan las distintas notas. Las cuerdas son de diámetro y longitud mayor para los registros graves, y más finas y cortas para los agudos; las de los graves, una por cada nota, están revestidas por un alambre de cobre enro-











En 1 se muestra el mecanismo del piano vertical. Al pulsar la tecla (A), el perno (B) actúa sobre la palanca (C), que mueve el pestillo (D); éste, al moverse sobre el gozne (E), desplaza el martinete (F) hacia las cuerdas. El tope (G) bloquea el martinete a mitad de su camino, de forma que la nota puede repetirse rápidamente. En 2 se muestra la acción del pedal suave: en (A) el pedal no está siendo utilizado; en (B) el martinete sólo toca dos cuerdas y el sonido producido es más débil. En 3, cuando se pulsa la tecla, los amortiguadores se alejan de la cuerda (A, B); al soltarla, vuelven a ponerse en contacto con ella (C), mientras que pisando el pedal fuerte las cuerdas vibran libres (D). En la página siguiente: piano de cola y representación en el pentagrama de las notas comprendidas en una octava de este piano.

llado en espiral a su alrededor y reciben el nombre de "bordones". Para los registros semigraves hay por cada nota dos cuerdas que vibran al unísono; para los medios y para los agudos hay tres por cada nota.

Cuando el pianista pulsa una tecla, el martinete percute la cuerda y la hace vibrar. El amortiguador, constituido por un collarín de madera recubierto a su vez por una capa de fieltro, anula las vibraciones de la cuerda cuando se deja de pulsar el teclado. El balancín hace volver de inmediato el martinete a la posición de reposo con el fin de que no obstaculice las vibraciones de la misma cuerda. Por último, para evitar que el martinete rebote sobre el balancín y vaya de nuevo a golpear la cuerda, hay un tope que lo bloquea.

Los *pedales* pueden ser dos o tres: el de la derecha, llamado *pedal fuerte*, de *sostén* o de *expresión*, levanta todos los amortiguadores a la vez y permite que todas las cuerdas vibren, sean golpeadas o no, lo que añade resonancia y calidad de tono; el pedal izquierdo, denominado *pedal suave*, mueve el mecanismo completo hacia la derecha, de modo que cada martinete golpea una sola cuerda en lugar de las dos o tres que hay por cada nota, con lo cual se produce un tono más "delgado", suave o débil, que se utiliza a veces para conseguir determinados efectos. El pedal central, que no todos los pianos poseen, es el de la "sordina": éste va unido a un paño de fieltro que se interpone entre los martinetes y las cuerdas, disminuyendo así la intensidad de los sonidos.



Tipos de piano Existe un amplio surtido de pianos en cuanto a dimensiones y formas se refiere.

En los pianos de cola, la caja de resonancia está colocada horizontalmente, de forma similar a la del antiguo clave. Esta modalidad comprende desde el piano de cuarto de cola, modelo reducido, al gran piano de concierto (de aproximadamente 2,7 metros de largo). El piano de salón y el piano de media cola son proporcionados a las dimensiones de una habitación corriente y miden aproximadamente 1,5 y 1,8 metros.

El piano vertical, llamado antiguamente de mesa, es el modelo más compacto y que ocupa menos espacio, pero como contrapartida hay que señalar que ofrece una calidad de tonos más pobre que la de los pianos de cola. Estos pianos verticales —espineta (con teclado de 8 octavas) y vertical para estudio— tienen las cuerdas y la caja de resonancia colocadas verticalmente.

Fue en el siglo XIX cuando el piano se impuso definitivamente. La mayor parte de los grandes compositores de dicho siglo, entre ellos Beethoven, Schubert, Chopin, Tchaikowski, Liszt y Brahms, exploraron la sorprendente gama de sonidos de este instrumento musical y compusieron piezas para él. Hacia finales de siglo, el piano había conquistado un puesto de honor en la mayoría de las casas y en las salas de concierto de todo el mundo.

Véase **Acústica; Escala musical; Instrumentos musicales**

Piedra, trabajo de la

Los gigantescos megalitos de Stonehenge (Inglaterra), los bloques perfectamente pulidos que forman las pirámides egipcias, los pequeños muros que serpentean a lo largo de terrenos cultivados y pastizales, las losas que señalan las tumbas en muchos países en todo el mundo tienen algo en común: todos ellos están construidos con bloques de piedra que han sido tallados. Sabemos que el hombre empezó a hacer uso de la piedra, como material base en la fabricación de herramientas y en la construcción, desde principios del Neolítico, a partir del 8000 a. de C. Hacia el año 3000 a. de C., empezaron a desarrollarse las primeras técnicas de explotación de canteras, que se realizaban, fundamentalmente, con herramientas de piedra y de madera. Aunque la naturaleza de estas últimas ha evolucionado sensiblemente, las antiguas técnicas de extracción no han experimentado cambios radicales. Cuando los grandes bloques de piedra natural salen de la cantera, su forma es, a menudo, irregular y su superficie rugosa y tosca; por ello es necesario trabajarlos para darles una nueva forma, transformándolos en bloques rectangulares para construcción, o en piezas de formas y tamaños diversos según el fin a que se destinen. Existen tres variantes fundamentales en lo que se refiere al trabajo y elaboración de la piedra, cada una de las cuales depende de la función específica a que ésta se va a dedicar: la piedra para construcción se corta según dimensiones y formas ordenadas de manera específica; la piedra para tallar o de sillería se corta generalmente de manera que se obtenga una sola cara lisa; finalmente, la piedra puede usarse también en forma de agregados para la fabricación de mortero u hormigón.

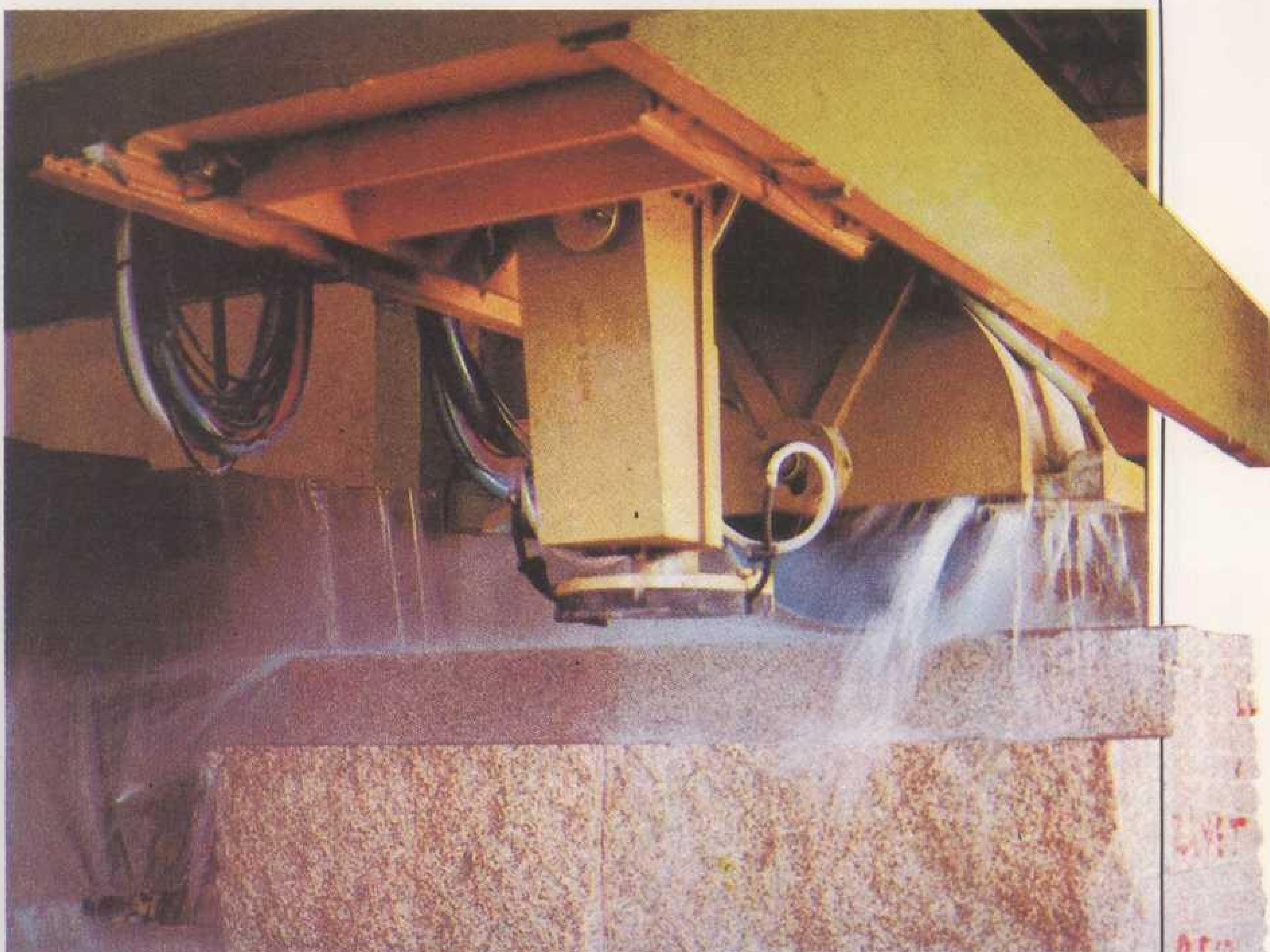
Piedras de construcción Para la construcción se utiliza principalmente el granito, los mármoles, la caliza, las areniscas compactas y algunas rocas volcánicas. La piedra ha de cumplir determinados requisitos: elevado peso específico, composición química inalterable por la acción del hielo y de las sales marinas; estructura compacta y uniforme, sin vetas o capas de materiales heterogéneos que propicien la fragmentación, y dureza elevada que permita resistir grandes presiones sin fractura. Se emplean normalmente bloques de piedra uniformes, con volúmenes variables, y piezas cortadas en forma de escuadra, aplanadas, para los muros. La piedra encuentra aplicación en todas las partes de la construcción: en los trabajos de cimentación con hormigones, para rellenos de pozos, arcos, muros de sostén, basamentos, zócalos, pavimento, revestimientos, etcétera.

Piedra de talla o sillería Los bloques destinados a ser tallados se labran a pie de cantera con arreglo a las plantillas de aparejo; de este modo se entregan las piedras o sillares acabados, listos para su colocación.



A veces se cortan a máquina bloques de medidas normalizadas que luego son acabados y enlucidos en la obra (piedra prelabrada).

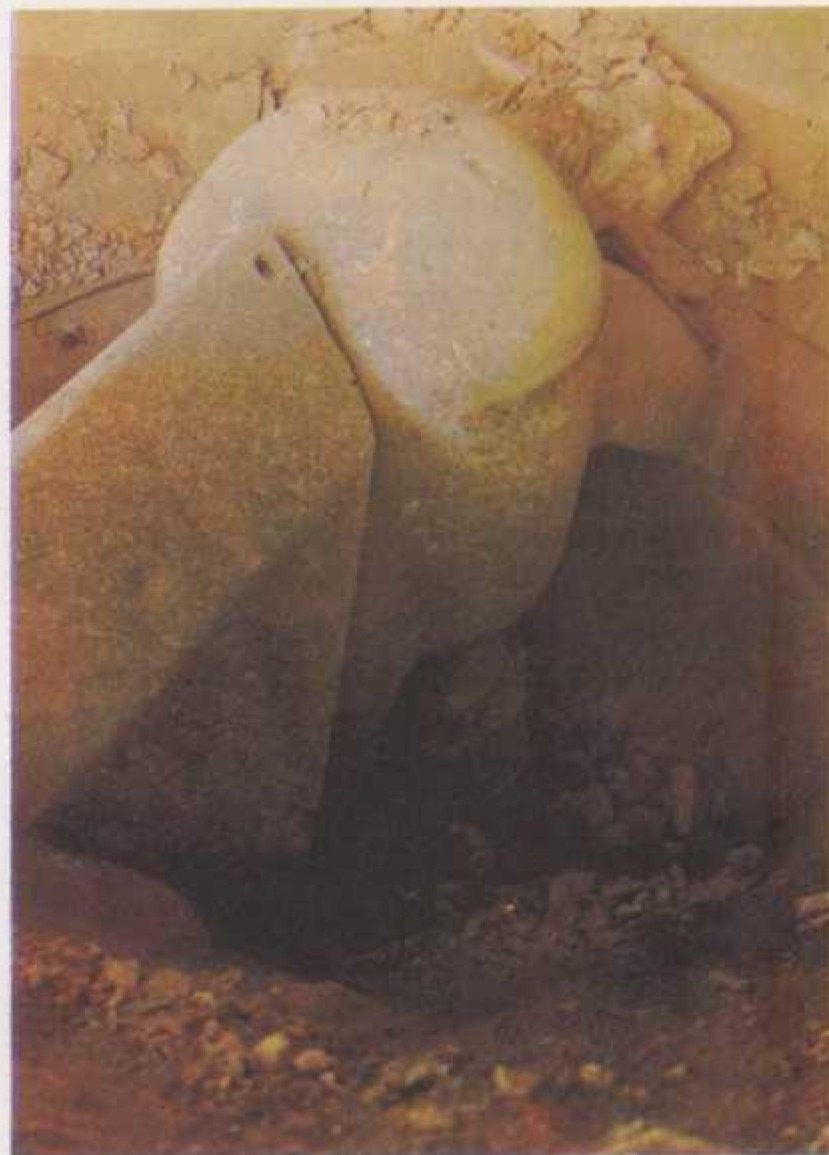
Las piedras de sillería pueden utilizarse como constituyentes del muro o, simplemente, como revestimento, a fin de conseguir un buen efecto estético con una reducción del coste.



Agregados La piedra que no se utiliza en forma de bloques puede machacarse, dejándola reducida a pequeños fragmentos de 1 a 8 centímetros, y utilizarse en forma de agregados en la elaboración de hormigones y morteros. Actualmente, la mayor parte de la piedra que se extrae de las canteras es convertida en agregados y utilizada en contrucción. También se emplea para la pavimentación de calzadas y vías férreas.

Casi el 75 por ciento de toda la piedra en forma de agregados está constituido por caliza, que se utiliza en una vasta gama de productos modernos, como el hormigón, en el que representa el "agregado" que aumenta el volumen del ligante, es decir, del cemento. En la fabricación de barnices, vidrios, plásticos y papel, interviene también la caliza pulverizada, que se utiliza además como elemento para blanquear en el dentífrico y en la masilla. Por otro lado, la caliza, sometida a elevada temperatura, se transforma en calcio, puesto que el dióxido de carbono se libera del carbonato de calcio (hecho que caracteriza a los compuestos calcáreos presentes en la caliza), formando óxido de calcio, que se utiliza en la fabricación de malta para enlucidos y de cemento Portland.





En la página anterior, arriba, corte típico de una plancha de granito por el método del alesnado. Primeramente se trazan sobre el bloque las líneas que determinan el tamaño y la forma de la pieza que se desea obtener. A lo largo de estas líneas, se perforan profundas hendiduras, donde se introducen las barras metálicas que después nos permitirán separarlo. Hecho esto, en cada canal se introducen cuñas de madera que profundizarán hasta producir una grieta y separar el bloque deseado. También en la página anterior, abajo, se muestra una vista general de una cantera.

A la derecha de estas líneas, aserrado de mármol con hilo helicoidal, un método que empezó a utilizarse a principios de siglo y que aún hoy en día se aplica ampliamente. Consiste en un cable metálico, formado por diversos cabos, tenso y enrollado en poleas, que se oprime contra la roca a la vez que se desenrolla a gran velocidad y es rociado con una mezcla abrasiva de arena y agua cuarzosa. En esta página, arriba a la derecha, cortabloques en acción: se trata de una máquina particularmente apta para el corte de bloques de mármol o de granito que no se pueden cortar por alesnado; abajo, mortero triturador de caliza que luego pasa a los hornos de cocción.

Véase **Cantera; Cemento; Construcción, materiales de; Edificios, construcción de; Hormigón**

Piel

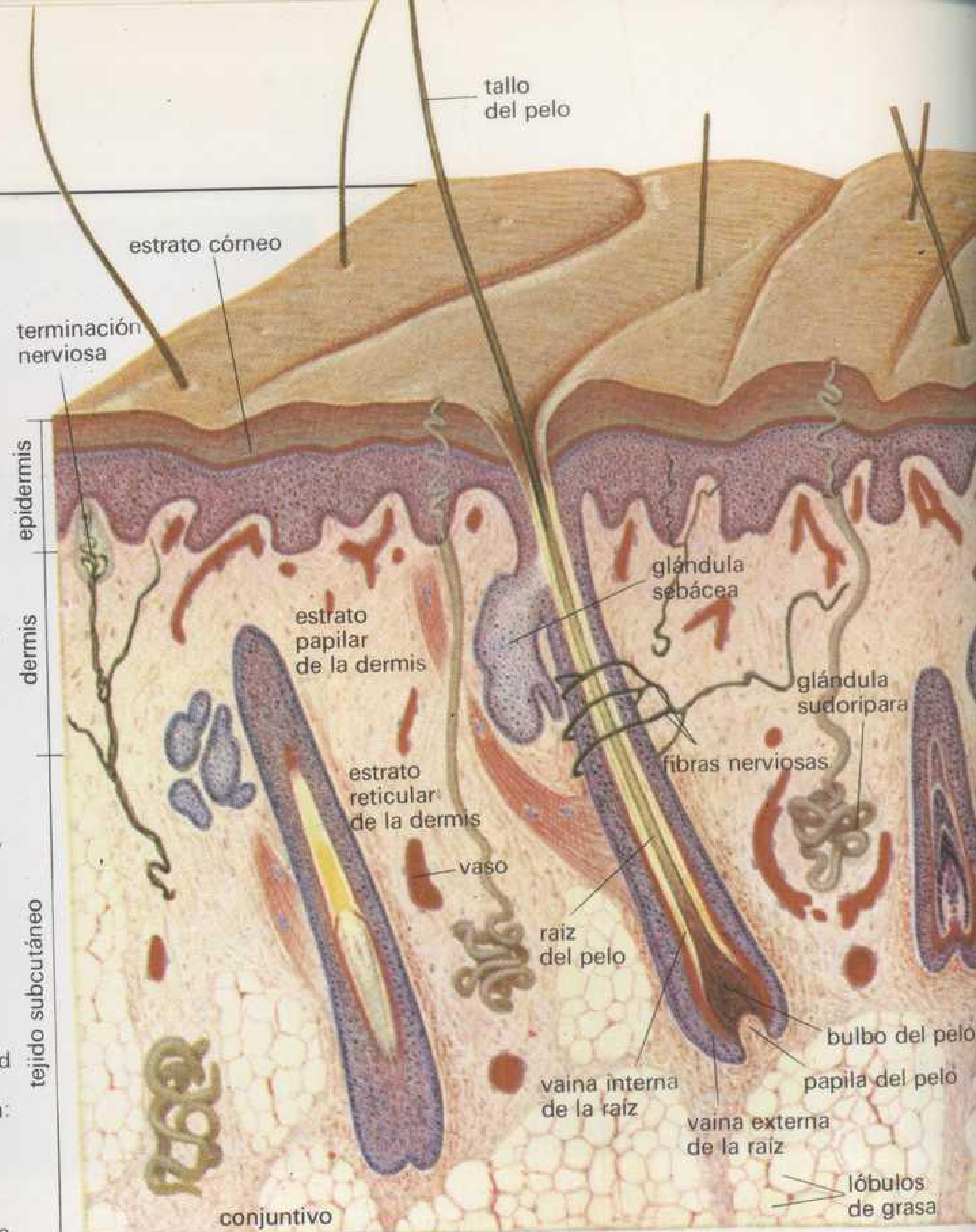
Por la complejidad de los fenómenos biológicos que en ella tienen lugar, la piel puede ser considerada como un verdadero órgano, dotado de una notable individualidad tanto anatómica como funcional. Su peso puede llegar hasta los 4,5 kg y su superficie medir unos 17.000 cm^2 en una persona adulta. La piel y todas las estructuras orgánicas a ella asociadas, como los pelos, las uñas y las glándulas sebáceas y sudoríparas, constituyen el complejo sistema cutáneo.

Estructura La piel está constituida por dos estratos tisulares: uno más externo, denominado epidermis y otro más interno, llamado dermis. La *epidermis* a su vez se divide en cuatro capas. La capa más externa está formada por células muertas aplanadas y estrechamente unidas unas con otras. Esta capa contiene la *queratina*, proteína córnea que confiere su dureza a la piel y que también se encuentra en las uñas y en los cabellos. La capa más profunda de la epidermis contiene células vivas en continua actividad reproductiva. Estas células ascienden a través de dos estratos intermedios hasta que alcanzan, tras haber perdido su núcleo, la superficie. Aquí, finalmente, mueren y se van descamando lentamente. La función principal del estrato inferior es por tanto proporcionar nuevas células al estrato superficial que continuamente se está descamando. Por otro lado, la epidermis es también responsable de la coloración de la piel al contener un tipo de células que producen un pigmento marrón, llamado *melanina*, cuyo contenido en la piel puede variar según el individuo, la raza y la zona geográfica de que se trate.

Las células de los distintos estratos están en contacto unas con otras a través de superficies irregulares especializadas y protuberancias, de modo que las diferentes capas se adaptan perfectamente entre sí. Los espacios que se encuentran entre las superficies de contacto están llenos de un fluido. Este tipo de disposición asegura que los estratos de células se hallen bien unidos entre sí y con la dermis subyacente, facilitando la infiltración de sustancias nutricias y de otros fluidos desde la dermis hacia la epidermis. Esta función nutritiva es esencial ya que la epidermis carece de vasos sanguíneos.

La *dermis* contiene terminaciones nerviosas, vasos sanguíneos, tejido adiposo, glándulas, las bases de los folículos pilosos y los lechos ungueales. La parte superior de la dermis posee unas pequeñas protuberancias, llamadas papilas dérmicas, que tienen también la función de unir la dermis con la epidermis. La parte inferior de la dermis está constituida por una red de haces fibrosos y elásticos que confieren a la piel su espesor, su resistencia y su elasticidad características.

Los anejos cutáneos Las uñas y los pelos son aditamentos cutáneos constituidos por células queratinizadas. Las raíces de los lechos ungueales y de los folículos pilosos se encuentran en la dermis, en donde las nuevas células empujan a las viejas hacia la superficie, dando así lugar al crecimiento del pelo y de las uñas. La piel, por otro lado, contiene dos tipos de glándulas: las sebáceas y las sudoríparas. Las glándulas sebáceas segregan una sustancia grasa denominada *sebo*; los conductos que parten de tales glándulas desembocan en los folículos pilosos, lubrificando el pelo y la superficie de la piel.

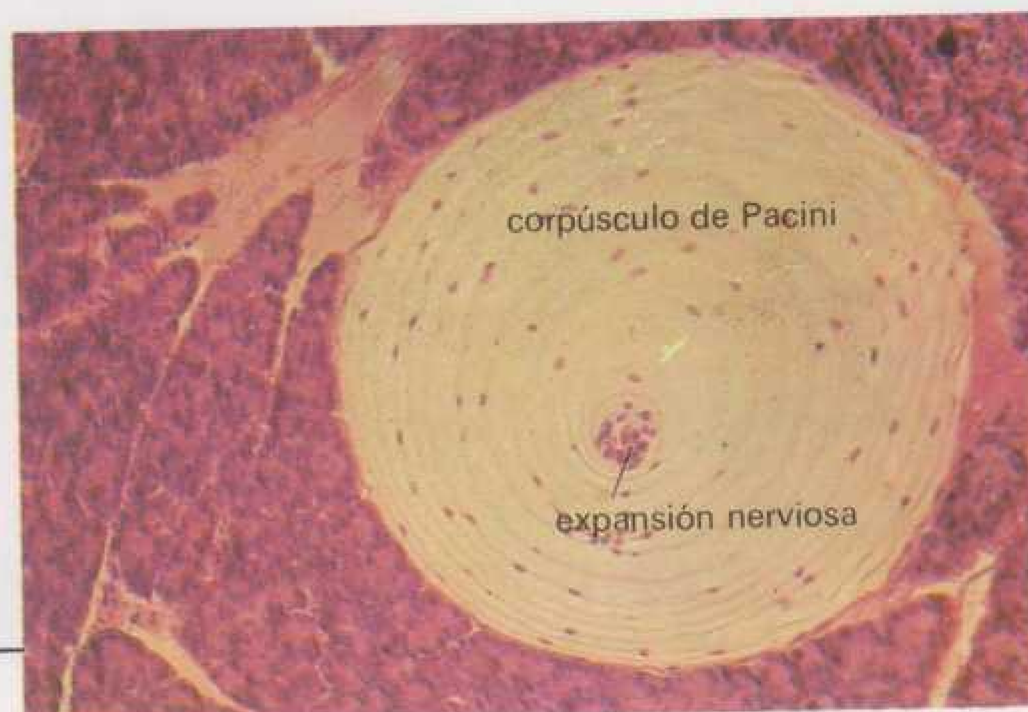


A la derecha, visión tridimensional de la piel que muestra los tres estratos (epidermis, dermis y tejido subcutáneo), las glándulas sebáceas y sudoríparas, los pelos, la vascularización y las fibras y terminaciones nerviosas. En las fotografías de la parte inferior, de izquierda a derecha, se ilustran algunas de las funciones ejercidas por la piel. Protección mecánica: ejercida por el estrato córneo, el más superficial, con células fuertemente queratinizadas y por tanto muy resistentes. Función sensorial: ejercida por los receptores sensoriales, cómo los corpúsculos de Pacini, destinados principalmente a la sensibilidad táctil. Renovación: tiene lugar a nivel del estrato basal o germinativo, que muestra gran actividad reproductora en sus células. Pigmentación: debida a los melanocitos, células que elaboran un pigmento pardo denominado melanina.

Existen dos tipos de glándulas sudoríparas, las *ecrinas* y las *apocrinas*, según las modalidades de secreción. Las glándulas sudoríparas son en su mayor parte ecrinas y producen el sudor, que tiene la función de perder calor y enfriar el organismo. Las glándulas apocrinas producen pequeñas cantidades de líquidos lacticinosos o parduscos que dan olor a la piel. Estas últimas glándulas se encuentran generalmente en las axilas o en la región inguinal y desembocan en los folículos pilosos, mientras que las glándulas ecrinas están repartidas por todo el cuerpo y se abren directamente sobre la superficie cutánea.

Funciones de la piel La piel constituye una importantísima barrera contra las bacterias, los parásitos y las enfermedades, y evita además la pérdida de los fluidos internos del organismo. La piel protege los órganos internos de los efectos nocivos provocados por la exposición al ambiente externo, de cuyas características









Protección mecánica

Dada su riqueza en fibras elásticas y la existencia de un lecho adiposo subcutáneo, la piel es capaz de soportar, además de la presión atmosférica, las agresiones mecánicas de distinta naturaleza.

Función secretora

Esta función está ligada a las secreciones sebáceas y sudoríparas. El sebo emitido a la superficie proporciona brillo y delicadeza a la piel y a los pelos; contribuye con el sudor a la formación del manto ácido lipídico de la piel.

Función de eliminación

Tal función, esencialmente desintoxicante, consiste en la eliminación de productos de desecho a través del sudor. El sudor está compuesto por un 95-97% de agua, siendo el resto sales, ácidos grasos, glúcidos, ácido úrico y sustancias de desecho del metabolismo celular.

Actividad termorreguladora

Las reacciones químicas que se desarrollan en el cuerpo humano producen calor. Para lograr que la temperatura corporal se mantenga siempre en torno a los 37 °C, esa producción de calor debe ser controlada. La piel participa también en este proceso termorregulador a través de mecanismos como la vasoconstricción y la vasodilatación.

Renovación

A nivel del estrato basal o germinativo cada célula se divide en dos; de éstas una queda en el mismo estrato y la otra pasa al estrato superior; a medida que va envejeciendo, asciende a estratos más superficiales hasta que llega a la capa córnea donde las células se eliminan por descamación.

Pigmentación

En el estrato profundo de la epidermis se encuentran los melanocitos, células que elaboran un pigmento oscuro llamado melanina que, aparte de dar su color a la piel, la protegen actuando como pantalla absorbente de los rayos ultravioleta.

Absorción

La piel, sobre todo a través de los folículos pilosos, es capaz de absorber diversas sustancias del exterior. También varios gases atraviesan la piel y el agua hidrata la capa córnea superficial.

Función sensorial

La piel es portadora de una compleja red nerviosa que permite la percepción de numerosos estímulos sensoriales (presión, calor, frío, dolor, etc.).

nos informa continuamente mediante los receptores sensoriales.

Una de las funciones principales de la piel consiste en la regulación de la temperatura corporal. Las glándulas sudoríparas emiten continuamente cantidades imperceptibles de sudor. Cuando la temperatura externa asciende, se forman gotas de sudor visibles sobre la superficie de la piel. Los vasos de la dermis se dilatan, incrementando el flujo de sangre que afluye a la superficie cutánea. La evaporación del sudor refrigera la piel y permite a la sangre perder calor, manteniendo constante de este modo la temperatura del interior del cuerpo. Por el contrario, cuando hace frío, los vasos sanguíneos se contraen y el organismo pierde menos calor. La piel es, además, un mal conductor del calor, mientras que la grasa subcutánea es un buen aislante, todo lo cual contribuye a mantener constante la temperatura interna del cuerpo.

Véase **Glándula; Pelo**



Pila de combustible

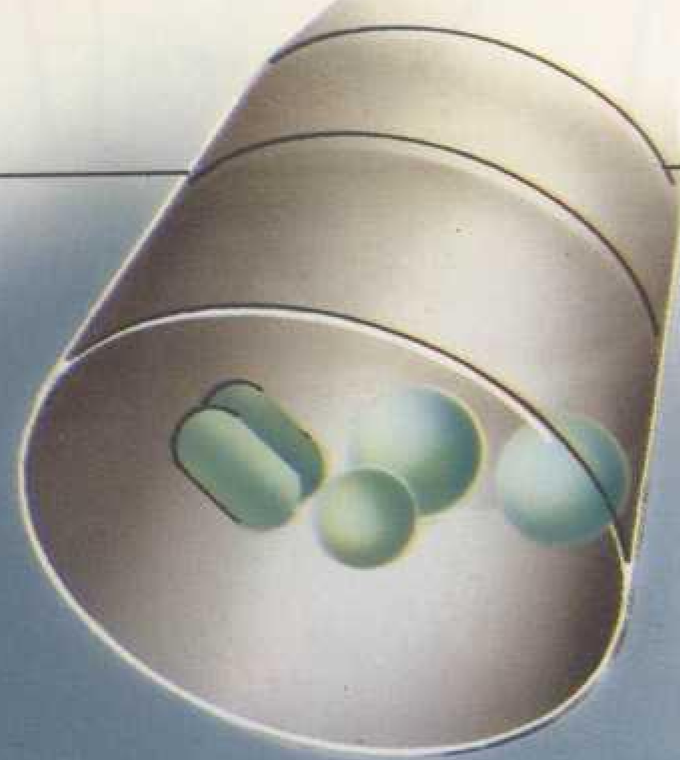
El día 12 de noviembre de 1981 partieron de Cabo Cañaveral los astronautas Joe Engle y Richard Truly, tripulando el segundo vuelo de la nave espacial Columbia. Poco antes de que el vehículo entrase en la órbita prevista sonó la señal de alarma. Una de las tres pilas de combustible de 90 kg, las baterías químicas que generaban toda la energía a bordo del vehículo espacial, no funcionaba regularmente. Por este motivo, la duración del vuelo, inicialmente estimada en cinco días, se redujo a dos.

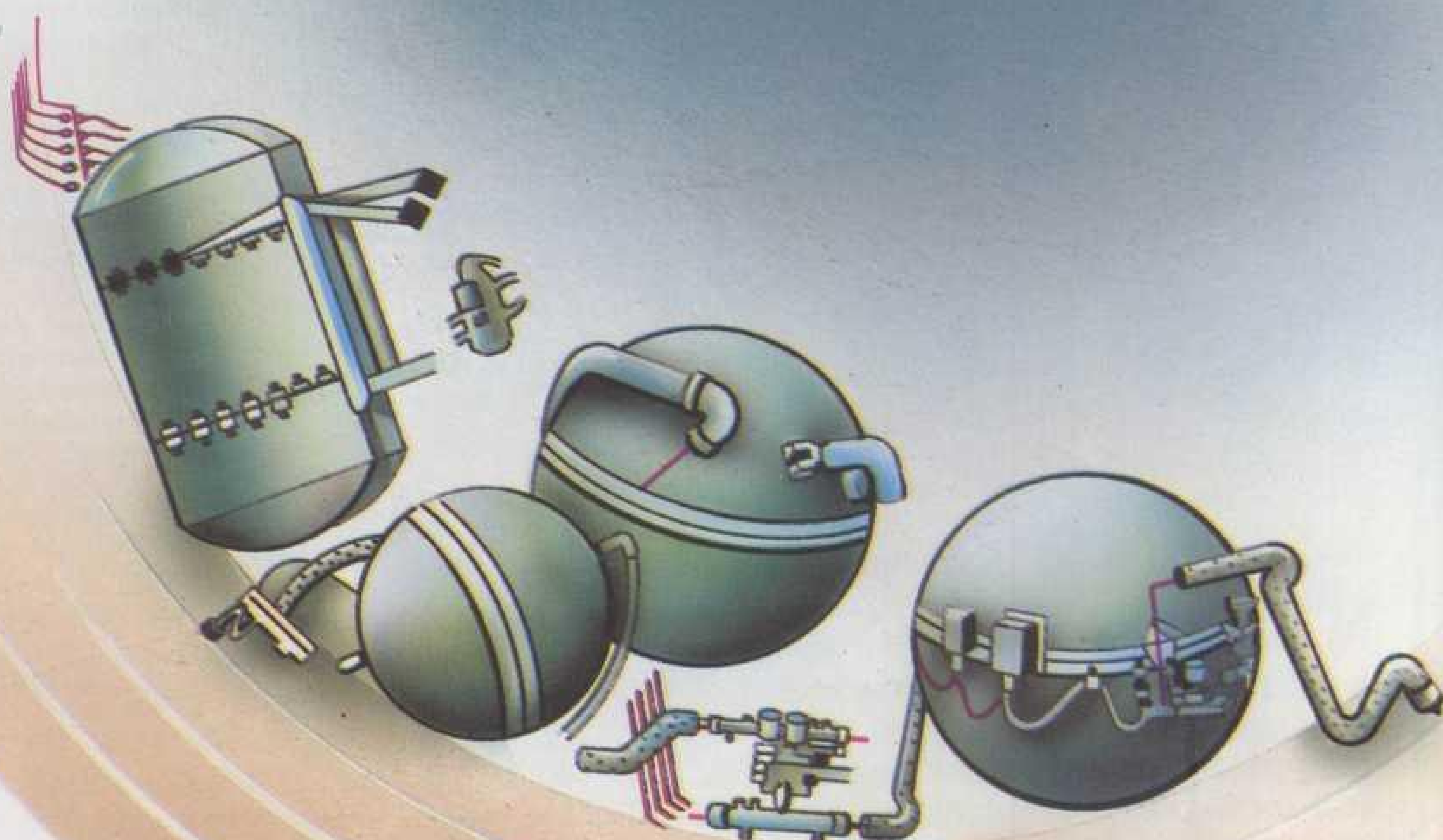
En aquella ocasión los astronautas y los técnicos dedicados al control de la misión se quedaron perplejos porque, aunque lógicamente se habían previsto posibles fallos de determinados aparatos de a bordo durante las primeras misiones experimentales, se pensaba que las pilas de combustible eran elementos relativamente fiables y que difícilmente habrían de ocasionar problemas. Estas pilas, que son tan familiares para los astronautas como podría serlo para nosotros una batería de automóvil, han llegado a ser aparatos habituales a bordo de los vehículos espaciales norteamericanos desde los años sesenta.

Baterías Las baterías generan fuerza electromotriz a partir de una serie de procesos químicos que tienen lugar en su interior. Estos procesos determinan una acumulación de electrones en una zona de la batería —el polo negativo— y un empobrecimiento de electrones en otra zona —el polo positivo—. Conectando estos dos polos con un material conductor, como puede ser un hilo de cobre, se obtiene un flujo de electrones, que circula por el hilo desde el polo negativo al polo positivo, es decir, una corriente eléctrica.

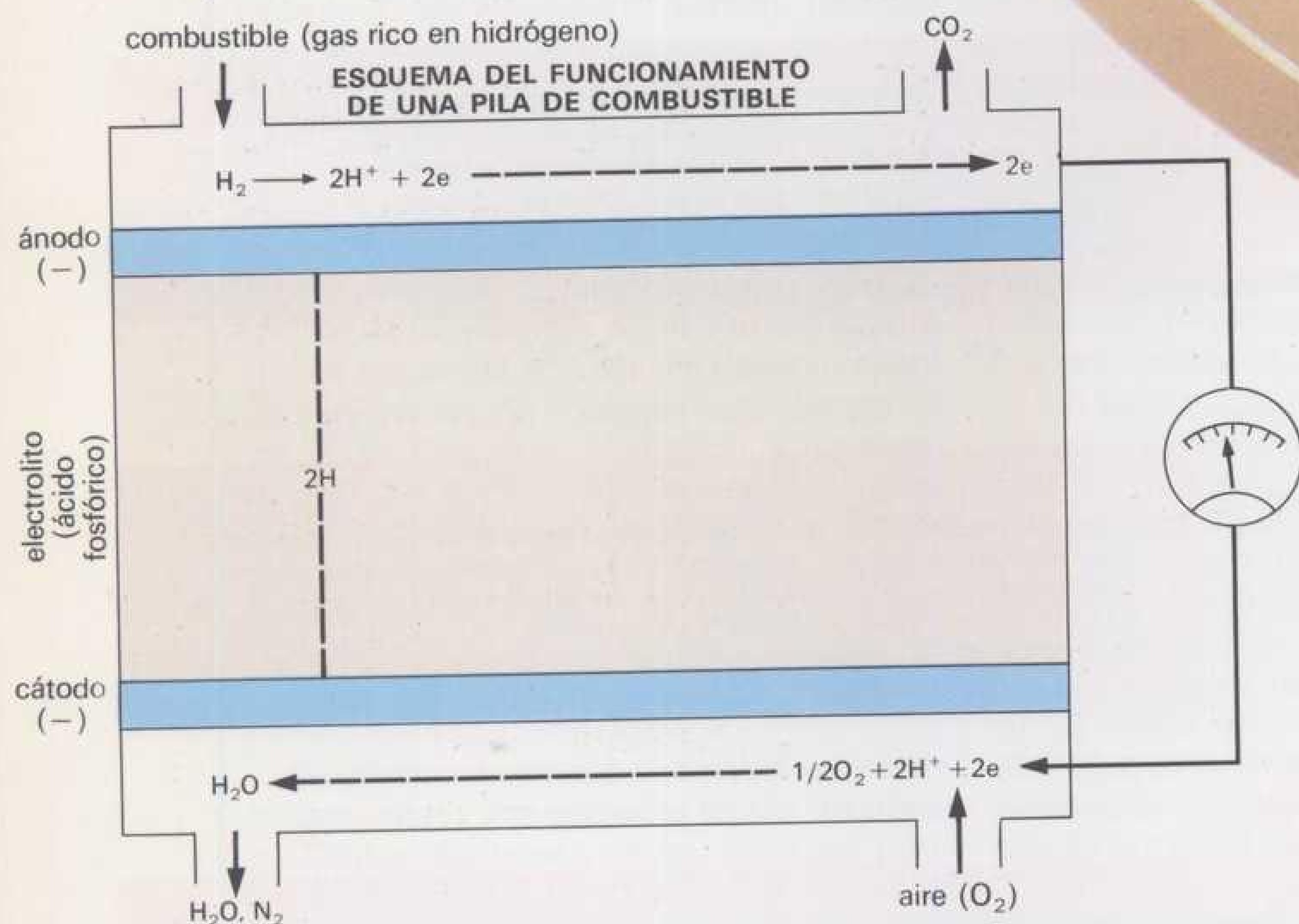
Se pueden utilizar varios tipos de reacciones químicas para obtener una batería. Muchas baterías están basadas en reacciones en que intervienen metales como el cinc, plomo o mercurio, elementos que en cierto sentido actúan como "combustible". Tienen, sin embargo, el inconveniente de ser relativamente caros y no recuperables, pues se queman durante el proceso. La batería pierde potencia con el uso y al final se tiene que desechar. Este es el caso de las pilas utilizadas en los pequeños electrodomésticos portátiles.

La búsqueda de procedimientos más económicos y duraderos para convertir la energía química en energía eléctrica ha llevado a la puesta a punto de las pilas de combustible. Este tipo de pila funciona como las baterías convencionales, pero con la diferencia de que los combustibles químicos no se encuentran únicamente en el interior de la batería, sino que se introducen desde el exterior cuando es necesario. Una pila de combustible puede funcionar ilimitadamente, siempre que se le proporcione combustible y los residuos de la reacción se puedan eliminar.





Entre las diversas aplicaciones actuales de las pilas de combustible, la que ha tenido más éxito es la de producción de energía para los vehículos espaciales. El dibujo ilustra uno de los primeros usos de una pila de combustible en este campo, en una cápsula espacial Géminis: la pila era de hidrógeno-oxígeno con almacenamiento criogénico del gas.



Funcionamiento de una pila de combustible basada en las reacciones entre un gas rico en hidrógeno y un oxidante, en este caso oxígeno. En el ánodo, los átomos de hidrógeno se ionizan, liberando electrones que producen una corriente eléctrica a través del circuito exterior. Mientras, en el cátodo, los electrones, el hidrógeno y el oxígeno forman agua.

Las reacciones químicas en una pila de combustible El primer constructor de una pila de combustible fue el jurista y científico inglés sir William Grove, en 1893. En la primera versión, la corriente eléctrica se producía por la reacción química entre hidrógeno y oxígeno, con formación de agua. Esta misma reacción química se utilizaría después en las pilas de combustible a bordo del Columbia. Aunque las pilas de combustible también se basan en otros tipos de reacciones químicas, la reacción hidrógeno-oxígeno constituye un buen modelo para describir los princi-

pios básicos de estas pilas. De todas formas, es necesario considerar antes algunas propiedades eléctricas de los átomos.

Actualmente casi todo el mundo está familiarizado con el modelo del átomo similar a un sistema solar en miniatura, con los electrones girando alrededor de un núcleo que contiene partículas con carga positiva llamadas protones. Un átomo en estado normal no tiene carga porque el efecto global de las cargas positivas anula el efecto global de las cargas negativas. En determinadas condiciones un átomo puede adquirir o perder uno o más electrones, quedándose de esta manera con una carga global positiva o negativa. Esto sucede, por ejemplo, cuando una sustancia se disuelve en un líquido y se disocia formando un *electrolito*. El equilibrio entre las cargas se rompe y cada uno de los átomos queda cargado, recibiendo el nombre de *ion*.

En una pila de combustible típica, el electrolito está contenido en un recipiente donde se sumergen dos láminas conductoras llamadas *electrodos*. Cada uno de los electrodos está conectado a un cable que sale al exterior. Los electrodos son porosos para que se puedan difundir a través de ellos los gases y líquidos, pero no el electrolito. El hidrógeno, almacenado en botellas fuera de la pila, se difunde a través del electrodo conectado con el polo negativo, llamado *ánodo*. Cada átomo de hidrógeno pierde un electrón, convirtiéndose en un ion positivo o catión antes de pasar al electrolito. Este proceso, que se produce en el interior del electrodo, se puede acelerar mediante la presencia de un catalizador, sustancia que favorece la reacción aunque no toma parte en ella.

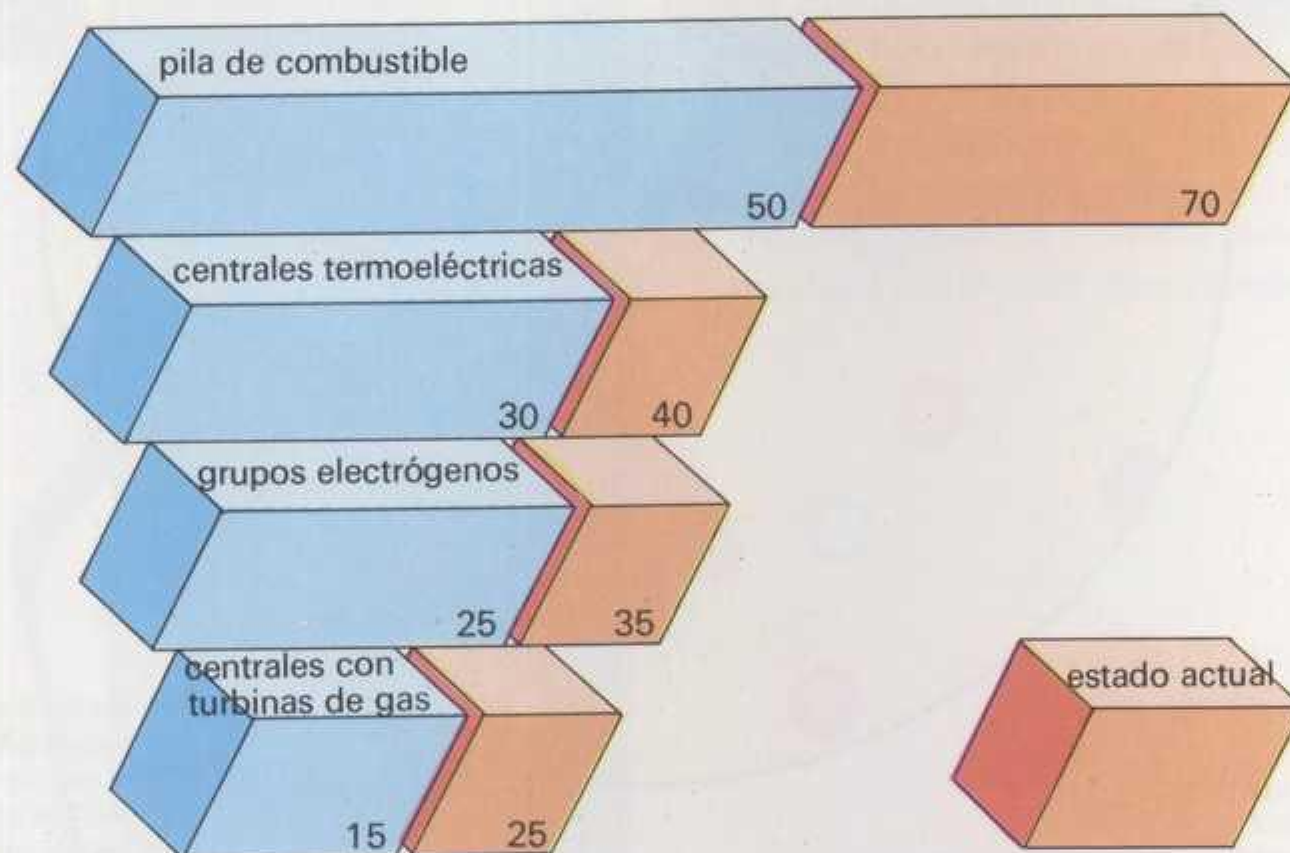
El oxígeno, que también está almacenado fuera de la pila, se difunde en el electrolito a través del electrodo conectado al polo positivo, llamado *cátodo*.

Los átomos de hidrógeno, que se dispersan rápidamente a través del electrolito, reaccionan con los átomos de oxígeno cerca del cátodo, formando agua. Los electrones necesarios para que esta reacción tenga lugar, se extraen, por tanto, del cátodo.

El ánodo, junto con el cable a él conectado, queda, pues, cargado con un exceso de electrones, procedentes de la ionización sufrida por los átomos de hidrógeno. El cátado, por el contrario, presenta una falta de electrones debido a que muchos de ellos han sido cedidos para completar la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno. La corriente eléctrica procedente de este desequilibrio de cargas se puede utilizar para muchos fines. El subproducto de la reacción (el agua) no es contaminante y, a bordo del Columbia, se ha utilizado incluso como agua potable.

Aplicaciones Durante mucho tiempo después de su descubrimiento, las pilas de combustible se consideraron una mera curiosidad de laboratorio. A partir de la II Guerra Mundial las pilas se han desarrollado considerablemente, sobre todo como posible fuente de energía. Presentan múltiples ventajas respecto a otras fuentes de energía más habituales. Con respecto a las baterías convencionales, el combustible de estas pilas es relativamente económico y se puede reponer continuamente; además, comparadas con las turbinas y los generadores, las pilas son silenciosas y no contaminan.

Véase **Acumulador; Pila galvánica**



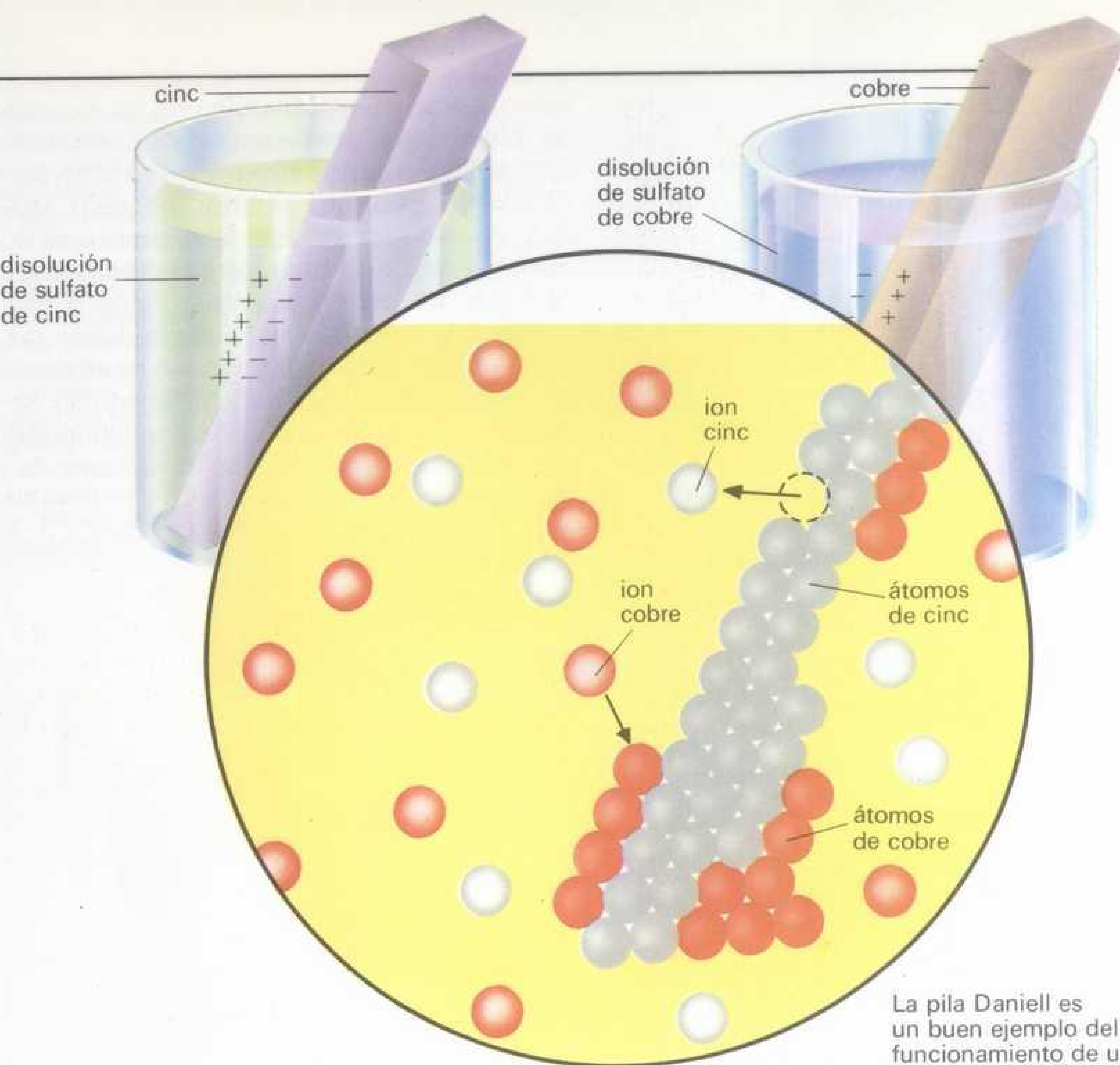
El diagrama de la izquierda muestra los posibles rendimientos energéticos (en porcentajes) de los sistemas de pilas de combustible y de los sistemas tradicionales, como son las centrales termoeléctricas, grupos electrógenos y centrales con turbinas de gas. En su estado actual las pilas de combustible tienen rendimientos energéticos netamente superiores, aunque su coste es muy elevado. Aquí debajo, en la tabla, se han resumido las características de algunos proyectos en fase de proceso o acabado para la realización de pilas de combustible en Estados Unidos.

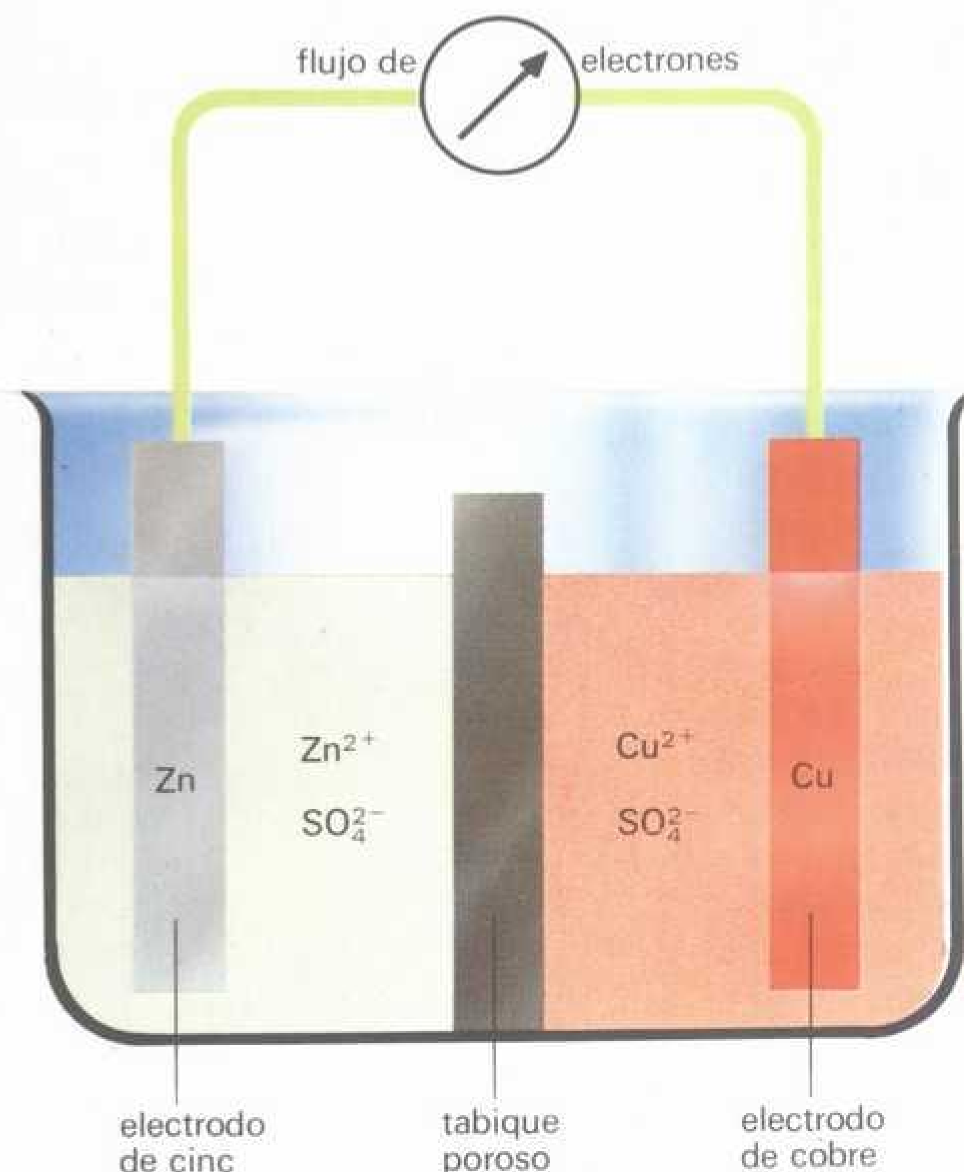
NOMBRE DEL PROYECTO	TARGET	FCG-1	GENERICO	GENERICO
FUNCION	INSTALACIONES LOCALES DE POTENCIA	INSTALACIONES DISPERSAS DE POTENCIA	INSTALACIONES DISPERSAS DE POTENCIA	INSTALACIONES CENTRALES DE POTENCIA
SERVICIO	SEGUIMIENTO (CONTINUO) DE LA CARGA	SEGUIMIENTO (INTERMEDIO) DE LA CARGA	SEGUIMIENTO (INTERMEDIO) DE LA CARGA	CARGA DE BASE
POTENCIA	DE 25 A 200 KILOVATIOS	DE 10 A 25 MEGAVATIOS	DE 10 A 25 MEGAVATIOS	DE 150 A 600 MEGAVATIOS
COMBUSTIBLE	GAS NATURAL	NAFTA	DERIVADOS DEL PETROLEO O CARBON	CARBON
COSTO	500	350	350	800
DISPONIBILIDAD	PRINCIPIO DE LOS AÑOS OCHENTA	PRINCIPIO DE LOS AÑOS OCHENTA	FINALES DE LOS AÑOS OCHENTA	AÑOS NOVENTA
ELECTROLITO	ACIDO FOSFORICO	ACIDO FOSFORICO	CARBONATO FUNDIDO O ACIDO FOSFORICO	CARBONATO FUNDIDO O ACIDO FOSFORICO

Pila galvánica

Los dispositivos ligeros y portátiles que transforman la energía química en energía eléctrica se llaman *pilas*. Una corriente eléctrica se genera por el movimiento de partículas minúsculas con carga negativa llamadas electrones. Para que la corriente eléctrica pueda circular, las pilas producen un exceso de electrones en el polo negativo (cátodo) y un defecto de electrones en el polo positivo (ánodo). Si los dos polos, o electrodos, se conectan con un conductor —material que permite la circulación de cargas eléctricas— los electrones pasarán de un electrodo al otro. La causa que determina el desplazamiento de electrones entre los dos electrodos de una pila es una diferencia de potencial que se llama fuerza electromotriz y se mide en voltios. Puede definirse como el trabajo realizado por la pila sobre la unidad de carga. Para producir esta diferencia de potencial, la pila utiliza reacciones químicas que tienen lugar en su interior.

Una pila está formada fundamentalmente por tres partes: un recipiente lleno de un líquido llamado *electrolito* y dos elementos con forma de barra llamados *electrodos*, fabricados con distintos materiales y sumergidos en el electrolito. Este conjunto de elementos forma una pila, mientras que dos o más pilas conectadas entre sí forman una batería. A menudo el electrolito está mezclado con almidón para espesarlo, lo que impide que se salga fácilmente del recipiente; las pilas construidas de esta forma se llaman *pilas secas*.





La pila Daniell es un buen ejemplo del funcionamiento de un dispositivo de este tipo para producir corriente eléctrica. Abajo, de la disolución acuosa de sulfato de cinc emerge una barrita de cinc (izquierda), y de la disolución de sulfato de cobre, una barrita de cobre (derecha). Las dos disoluciones están separadas por un tabique aislante pero poroso, que permite el paso de los iones, pero no la mezcla de las disoluciones. A la izquierda, el cinc cede electrones a la disolución en forma de iones cinc y el electrodo se corroe lentamente, mientras que, a la derecha, los electrones procedentes del sulfato de cinc a través del circuito conductor se mezclan con el cobre de la barrita. Sobre estas líneas, dentro del círculo, detalle del fenómeno de la corrosión de la barrita de cinc y de la acumulación de cobre en el lugar del cinc.

La pila propiamente dicha o célula irreversible El tipo de pila más común es la pila seca de cinc-carbón, que tiene más de cien años de existencia: es la clásica pila que alimenta las linternas de bolsillo. El cátodo, o electrodo negativo, es un recipiente cilíndrico de cinc, mientras que el ánodo, o electrodo positivo, es una barrita de carbón. El espacio entre ambos electrodos está lleno de un electrolito a base de cloruro de amonio. En el proceso de disolución del electrodo de cinc en el cloruro de amonio, cada átomo de cinc libera dos electrones y al mismo tiempo se forman burbujas de amoniaco (gas). En el electrodo de cinc se produce por tanto una acumulación de electrones en exceso, mientras que en el electrodo de carbón se produce una disminución de electrones. El amoniaco gaseoso forma sales dobles con el cloruro de cinc por lo que no crea problemas al no acumularse en forma de gas.

Cuando la pila no está funcionando, solamente se acumula en el ánodo (y se aleja del cátodo) una pequeña cantidad de electrones. En cambio, cuando la pila está trabajando y circula un flujo de electrones de un electrodo al otro y a través del circuito exterior, una mayor cantidad de cinc se disuelve en el ánodo, y, al mismo tiempo, se libera más cantidad de amoniaco en el cátodo. Con la disolución progresiva del ánodo, la tensión, o fuerza electromotriz, que permite el desplazamiento de los electrones, tiende a disminuir. Al final, la pila se gasta porque la reacción química que se produce en su interior no es reversible. Una pila que después de una larga utilización no se puede recargar y se tiene que tirar se llama *célula irreversible*.

Otros tipos de pilas Algunas pilas están pensadas para poder proporcionar energía eléctrica en condiciones ambientales muy distintas, a temperaturas muy altas o muy bajas, para producir corrientes de gran intensidad breves e intermitentes, como en las máquinas fotográficas, o para soportar cargas fuertes (mucho gasto) durante largos periodos, como en los aparatos eléctricos. Si en la utilización de prótesis auditivas o en marcapasos es importante que la pila sea de pequeñas dimensiones, en las centrales telefónicas lo que más importa es su fiabilidad y duración.

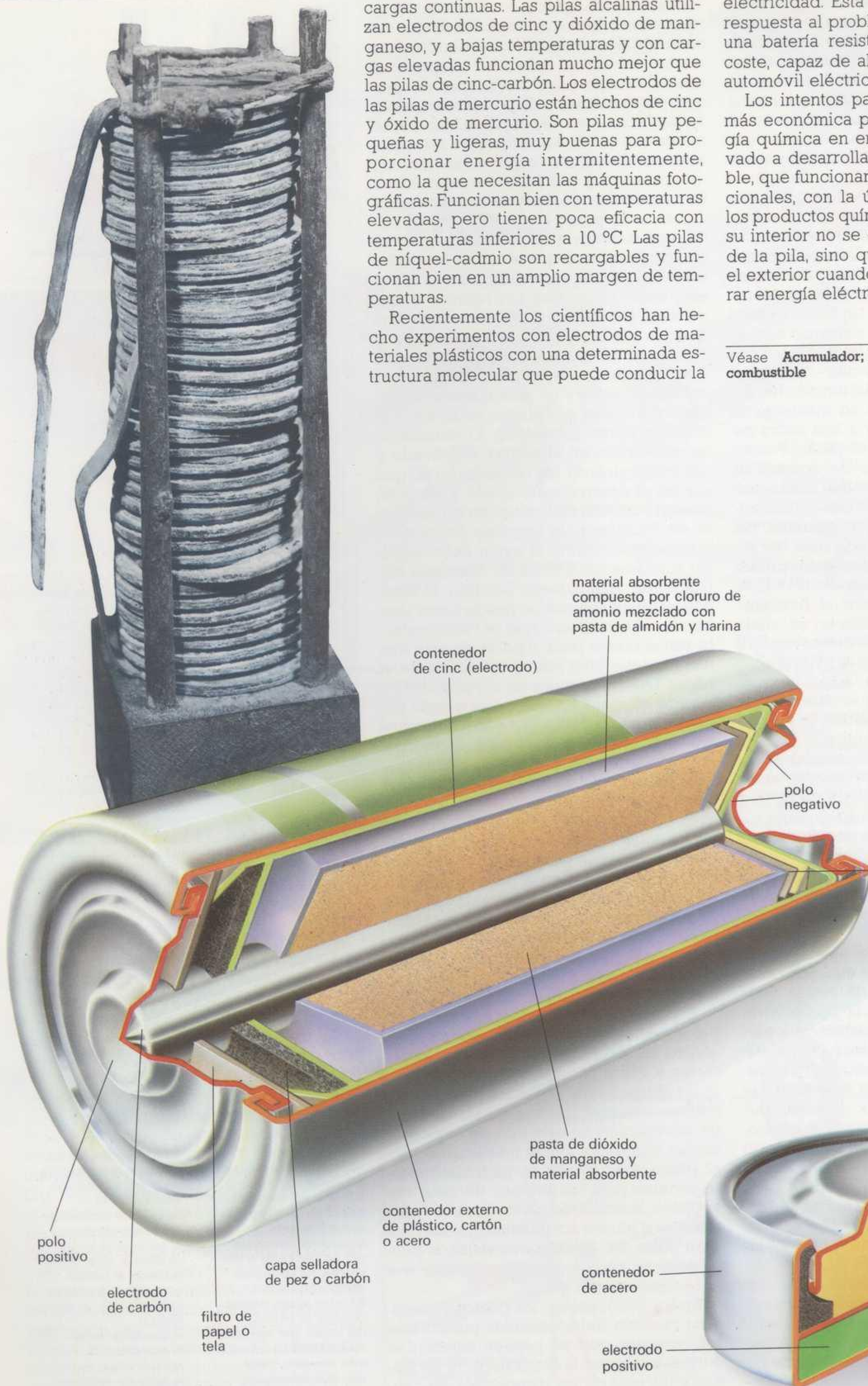
Las pilas de cinc-carbón funcionan muy bien con cargas ligeras y conservan bien la energía a bajas temperaturas, pero con el aumento de temperatura pierden rápidamente su eficacia. Además, funcionan mejor con cargas intermitentes que con

cargas continuas. Las pilas alcalinas utilizan electrodos de cinc y dióxido de manganeso, y a bajas temperaturas y con cargas elevadas funcionan mucho mejor que las pilas de cinc-carbón. Los electrodos de las pilas de mercurio están hechos de cinc y óxido de mercurio. Son pilas muy pequeñas y ligeras, muy buenas para proporcionar energía intermitentemente, como la que necesitan las máquinas fotográficas. Funcionan bien con temperaturas elevadas, pero tienen poca eficacia con temperaturas inferiores a 10 °C. Las pilas de níquel-cadmio son recargables y funcionan bien en un amplio margen de temperaturas.

Recientemente los científicos han hecho experimentos con electrodos de materiales plásticos con una determinada estructura molecular que puede conducir la electricidad. Esta puede ser una posible respuesta al problema de cómo construir una batería resistente, ligera y de bajo coste, capaz de alimentar el motor de un automóvil eléctrico.

Los intentos para encontrar una forma más económica para transformar la energía química en energía eléctrica han llevado a desarrollar las pilas de combustible, que funcionan como las pilas convencionales, con la única diferencia de que los productos químicos que reaccionan en su interior no se conservan en el interior de la pila, sino que se introducen desde el exterior cuando la pila tiene que generar energía eléctrica.

Véase **Acumulador; Electroquímica; Pila de combustible**



En esta página: a la izquierda, pila de Volta, formada por tres tipos de discos alternados (de cinc, de paño empapado en ácido sulfúrico y de cobre); debajo, una sección de una pila de carbón-cinc de tipo blindado donde las disoluciones de sulfato de cobre y de cinc son sustituidas por una mezcla de dióxido de manganeso y material absorbente y por cloruro de amonio, formando una pasta con almidón y harina. En último lugar, sección de una pequeña pila de óxido de plata, que mantiene una tensión constante durante todo el tiempo que dura.

Piloto automático

En los años que siguieron a la II Guerra Mundial, con el desarrollo progresivo de la tecnología, se difundieron cada vez más los sistemas automáticos en los aviones. Los mandos automáticos facilitan la acción del piloto mediante oportunos servomecanismos o, incluso, como en el caso del piloto automático, pueden llegar a reemplazarlo totalmente durante ciertas etapas del vuelo.

Los pilotos automáticos tienen una doble función: actúan como reguladores, manteniendo los parámetros previamente ajustados, y como servosistemas, obedeciendo las órdenes recibidas. Particularmente en vuelos comerciales largos, el piloto puede estar relajado sin más que controlar los instrumentos y tomar de vez en cuando los mandos para rectificar las posibles desviaciones de la ruta.

En su origen, la principal función del piloto automático consistía en mantener el avión en una dirección y a una altura de vuelo determinadas por el piloto. Puesto que los aviones en vuelo de crucero se mueven a lo largo de grandes distancias, se pensó la forma de lograr ese control automático con las máximas garantías de exactitud y seguridad. Así, la idea del piloto automático se manifestó muy pronto en la historia de la aviación: en 1914 E. A. Sperry demostró con éxito el funcionamiento del primero de ellos en un vuelo sobre París, y desde entonces su nombre está ligado a la historia de la aviación.

El sistema de pilotaje automático se basa en un dispositivo que compara las tres variables que caracterizan la ruta de un avión (el rumbo, la altitud y el alabeo), con las instrucciones suministradas por el piloto e introducidas previamente en la memoria del propio dispositivo. Si, por ejemplo, el piloto ha ajustado el piloto automático para un vuelo horizontal a 10.000 pies (3.000 metros) de altura sobre un rumbo de 180°, cada desviación de estos parámetros deberá ser automáticamente registrada y corregida por el piloto automático.

¿Cómo se realiza esta regulación? Supongamos que el avión por cualquier causa (cambio del régimen de motor, mala compensación, etc.) varía la posición de su morro hacia abajo comenzando a perder altura. Esta situación será inmediatamente detectada por un sensor (barómetro) que origina una señal eléctrica que acciona un pequeño motor, llamado *servomotor*. Este a su vez mueve los controles del avión volviendo a elevar el morro del mismo. Cuando el avión alcanza nuevamente la altura prefijada de 10.000 pies, el sensor deja de enviar impulsos al servomotor, y el avión se coloca en posición de vuelo horizontal; de este modo, el piloto automático ha realizado su cometido.

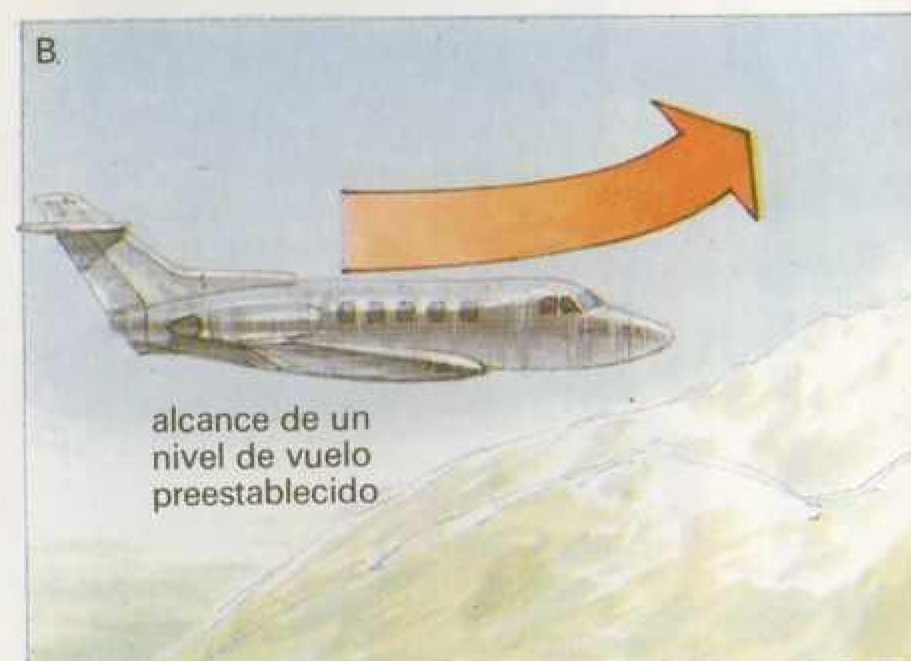
Si el avión se ha desviado de su rumbo establecido de 180°, entra en funcionamiento el mismo sistema; para este caso, dispone de un giróscopo que gira sobre un plano vertical, como la rueda de una bicicleta. Otro servomotor accionará entonces los controles del avión para que éste vuelva al rumbo prefijado. Además del giróscopo existen otros dispositivos que activan el piloto automático: acelerómetros, medidores de la velocidad respecto al aire (anemómetros), medidores de presión (barómetros) o dispositivos especiales de radio. A su vez el piloto automático puede activar distintos tipos de servomecanimos: eléctricos (como el servomotor del giróscopo), hidráulicos o neumáticos. En todos estos casos, y en los modernos sistemas de piloto automático, los circuitos que enlazan a estos últimos con los servomecanismos que accionan los distintos controles de vuelo (alerones, timones, etc.) están triplicados, por razones de seguridad. De hecho, si se interrumpe uno de ellos por una avería, entran inmediatamente en funcionamiento los otros dos. Actualmente la mayor parte de los aviones comerciales y un gran número de pequeños aviones de turismo están equipados con piloto automático. El sistema se ha convertido en algo muy sofisticado y complejo, dotado de computadoras, que siguen el desarrollo del vuelo y efectúan las correcciones necesarias en el transcurso de fracciones de segundo. En caso de mal tiempo, cuando el avión debe aterrizar siguiendo el Sistema de Aterrizaje Instrumental (Instrument Landing System, ILS), el piloto automático puede hacer descender el avión hasta que se toma contacto visual con la pista; a partir de este momento, debe intervenir personalmente el piloto. En este proceso de aproximación a la pista, el piloto automático es guiado por dos señales de radio: una señal horizontal alineada con el eje de la pista de aterrizaje y una señal vertical que se inclina gradualmente hacia abajo para intersecar el nivel de la pista.

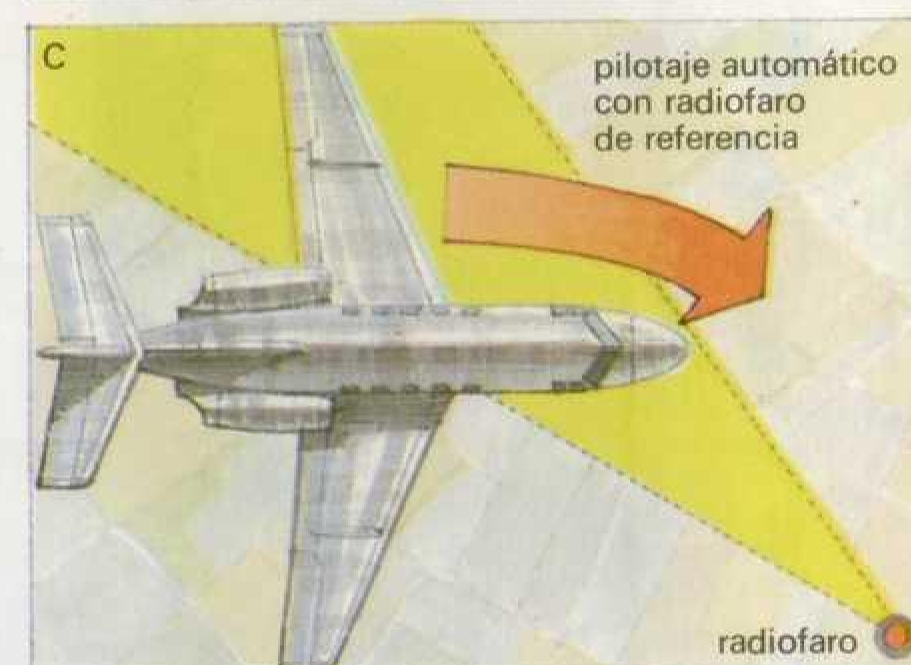
El piloto automático mantiene el avión sobre estas dos señales con el fin de lograr un aterrizaje perfecto. En algunos aeropuertos que disponen de un ILS de alta precisión y fiabilidad, los aviones pueden llegar a completar totalmente su aterrizaje mediante la única ayuda del piloto automático. Para que esto pueda realizarse, el piloto automático debe estar especialmente diseñado para tal fin.

El piloto automático desempeña un papel importante incluso en el vuelo supersónico. En virtud de su capacidad de detectar y corregir instantáneamente cualquier anomalía de vuelo, los pilotos automáticos son introducidos en los sistemas de navegación de este tipo de aviones y actúan como una ayuda inestimable para el piloto. Esta ayuda es particularmente importante para los aviones de caza monoplazas, muchos de los cuales son "pilotados" por pilotos automáticos durante una gran parte del vuelo, permitiendo al piloto dedicar mayor atención al radar o a otros sistemas del avión.

En los helicópteros, los pilotos automáticos resultan indispensables puesto que son aparatos que no poseen estabilidad intrínseca alguna. Si el piloto retira las manos y los pies de los dispositivos de control de un avión en vuelo horizontal, el









Arriba, cuatro situaciones de empleo del piloto automático: A), una vez conectado se ocupa de mantener el rumbo; toda desviación impuesta por oscilaciones o por vientos es corregida automáticamente. B), si el piloto decide cambiar la altitud del vuelo, por ejemplo ascendiendo a un nivel más elevado, basta con que introduzca el nuevo valor y el avión ascenderá bajo el control exclusivo del piloto automático; C), en presencia de una radiobaliza el autopiloto tiene una referencia de tierra y, aunque el avión se desvíe, sabe cómo recobrar el rumbo para alcanzar la meta prefijada; D), se puede realizar automáticamente la maniobra de aproximación a la pista de aterrizaje y, en algunos casos, el aterrizaje mismo.

superficies de control servoasistidas por el piloto automático

superficies de control servoasistidas por el piloto automático

mandos hidráulicos asistidos por el ordenador

ordenador con capacidad de decisión

sensores de altura y aceleración

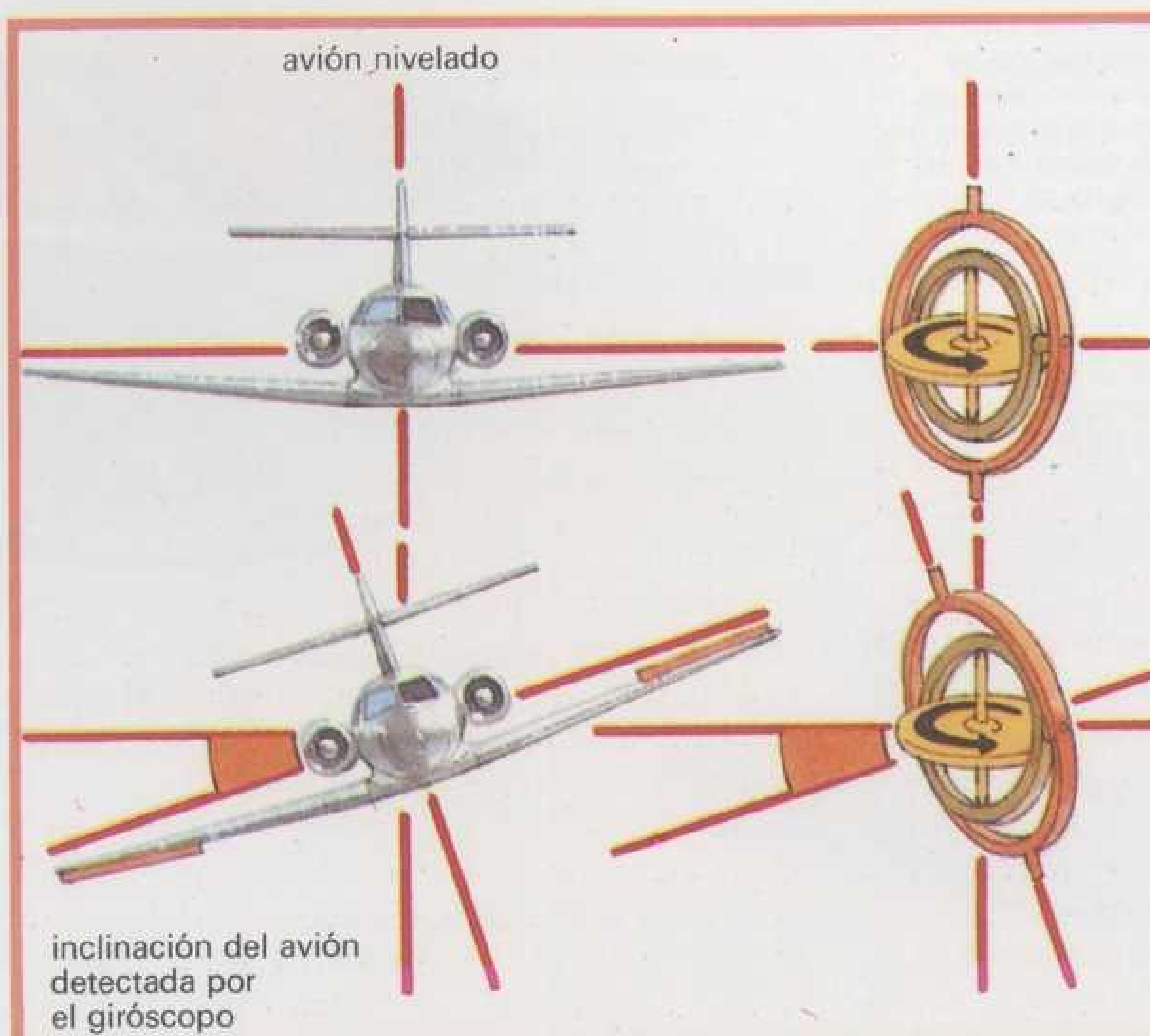
radar meteorológico

En el morro del avión de la figura se aprecian los sensores que comunican al piloto automático los datos informativos sobre el vuelo: dirección, velocidad, ángulo de ataque. Una vez recibidos los datos, el ordenador del piloto automático decide la maniobra a realizar. Se puede observar el ordenador junto con los mecanismos encargados del accionamiento de las superficies de control de vuelo para corregir los errores detectados por los sensores. Puesto que la responsabilidad del piloto automático es grande, sus circuitos más vitales suelen ser dobles o triples para poder seguir actuando en caso de avería en uno de ellos. Sin embargo, en cualquier momento, el piloto puede desactivar instantáneamente el funcionamiento del piloto automático y volver a tomar personalmente el mando del aparato.

avión continuará volando regularmente, al menos en los primeros instantes; pero un helicóptero, en la misma situación, perdería el control. Para un helicóptero un momento particularmente vulnerable es el de transición de vuelo estacionario —con el que el aparato se eleva desde el suelo— al movimiento de avance.

En el campo militar, los pilotos automáticos adquieren una importancia significativa en todos aquellos casos en los que se utilizan aparatos sin tripulación. Por ejemplo, los "aviones utilizados como blanco" vuelan con un piloto automático que recibe las órdenes de vuelo mediante señales de radio procedentes de tierra. Los misiles vuelan con piloto automático desde el momento de su lanzamiento hasta que se produce el impacto en el blanco. Otra aplicación del piloto automático la encontramos en los submarinos de propulsión nuclear.

Véase **Aviación militar; Avión; Aviónica; Helicóptero; Navegación**



El giróscopo, a la izquierda, es el corazón de los instrumentos de análisis de rumbo y posición del avión durante el vuelo. Antes del despegue es orientado correctamente (arriba) y durante todo el vuelo sigue manteniendo la misma orientación sin resentirse de los distintos cambios de dirección que tienen lugar durante el vuelo. Abajo, los ángulos de alabeo medidos permiten enviar al ordenador del piloto automático los datos, que provocarán señales en los servomotores con el fin de orientar las superficies de control (como los timones).

Pinturas y barnices

Si trituramos granos de tierra coloreada o de algún otro mineral hasta reducirlos a polvo fino, añadimos agua y los mezclamos con alguna sustancia ligante (clara de huevo, leche, etc.), obtendremos una sustancia similar a las que ya, en la época prehistórica, fueran utilizadas por el hombre para decorar grutas y cavernas. Se han encontrado figuras de animales pintadas en cavernas en Lascaux (Francia) y Altamira (Santander, España). También los etruscos hicieron pinturas murales similares a las anteriores; por regla general, los colores predominantes eran el negro y el rojo, que extraían de los materiales que tenían más a mano como el hollín y las tierras rojas. Con el fin de fijar los pigmentos al muro, es probable que se sirvieran de productos como la grasa animal, la cera o, incluso, la albúmina de la sangre. Casi todas las antiguas civilizaciones —egipcia, china, persa, griega e hindú— desarrollaron diversos procedimientos para colorear y proteger contra la intemperie y el agua marina superficies de madera y metal.

En la actualidad, bajo la denominación de productos barnizantes se comprenden tanto los barnices (transparentes) como las pinturas y esmaltes (negros, blancos o de color) que se utilizan para decorar superficies, protegerlas de los agentes exteriores, por motivos de higiene o desinfección, o también para distribuir mejor la luz o la iluminación sobre un objeto.

Pinturas Las pinturas están compuestas de un constituyente sólido pulverulento (*pigmento*) y de un medio de suspensión formado por la mezcla de un aglutinante (aceite, resina natural o artificial) y disolventes, plastificantes y adyuvantes. La adecuada mezcla de estos elementos da lugar a productos barnizantes, fluidos, muy homogéneos y provistos de un poder cubriente más o menos elevado que se utilizan para revestir superficies de modo que se escondan y modifiquen ópticamente sus características.

Pigmentos Los pigmentos aportan a la fina capa de pintura su aspecto mate o brillante, su poder reflector de las radiaciones, su poder aislante y, particularmente, su color. Al principio los pigmentos estaban constituidos por sustancias minerales naturales. Luego se utilizaron otras sustancias de origen mineral u orgánico (naturales o sintéticas), y hoy la industria de colorantes sintéticos crea cada día nuevos pigmentos. Durante muchos años, los principales pigmentos blancos fueron el plomo blanco (carbonato básico de plomo), el óxido de cinc y el litopón (una mezcla de sulfuro de cinc y sulfato de bario), pero en la actualidad han sido sustituidos por razones de opacidad, poder lubricante y toxicidad por una de las tres formas cristalinas del dióxido de titanio, la denominada rutilo. Las pinturas cuyos pigmentos contienen óxidos de hierro dan un color rojizo, mientras que los compuestos de cromo y cinc son los responsables del color amarillo, y los de cobalto y cobre, del color azul. El negro se obtiene en casi todos los casos a partir del carbono. En cuanto a la resistencia a la corrosión, el minio, o plomo rojo, continúa siendo el principal componente de las pinturas anticorrosivas destinadas a proteger las superficies de hierro y acero.

Todos los pigmentos citados son de origen inorgánico o mineral. Los pigmentos orgánicos son, generalmente, inferiores a los inorgánicos en cuanto a solidez a la luz, resistencia al calor y tendencia a disolverse en aceites y disolventes. Un pigmento orgánico importante es el negro de humo, de origen vegetal o mineral.

Todos los pigmentos, ya sean orgánicos, inorgánicos o sintéticos deben tener finura del grano, estabilidad de color, poder colorante elevado, inercia química y opacidad, con el fin de proporcionar a la pintura una homogeneidad y poder cubriente suficientes.

Para conseguir pinturas de diferentes tonos o matices de color se emplea, además del pigmento, una materia colorante adicional.

Finalmente, las *cargas* son pigmentos de bajo precio que aportan nula o casi nula coloración, pero que desempeñan un papel importante en la resistencia mecánica y química de la película; así, por ejemplo, el talco y la mica tienen un papel protector contra la humedad.

Aglutinantes y disolventes No se sabe exactamente qué sustancia empleó el hombre prehistórico para adherir la pintura a las paredes de las cavernas, pero se conocen, sin embargo, los métodos empleados posteriormente: los egipcios usaban la albúmina del huevo, técnica que fue aplicada durante siglos en el mundo occidental; en Oriente se utilizaba el jugo derivado del árbol de la laca; y se han empleado también las proteínas de la leche (caseína) y las resinas naturales (kauri, copal, dammar y ámbar).

Estas sustancias son algunos de los primeros aglutinantes utilizados para la elaboración de pinturas.

Los aglutinantes son sustancias macromoleculares que permiten la extensión de la pintura en una capa continua y que sirven de soporte a los pigmentos que aportan el color.

Hasta principios del siglo XX casi todas las pinturas estaban constituidas por aceites secantes —generalmente aceite de linaza cocido— y pigmentos. Posteriormente el desarrollo de las resinas alquídicas sintéticas, modificadas químicamente con aceites secantes, permitió fabricar pinturas dotadas de notable brillo y de tiempos de secado muy breves. Paralelamente a

En la Antigüedad clásica, en la Edad Media y en el Renacimiento la pintura se obtenía siempre por medio de pigmentos orgánicos, minerales de composición química muy precisa, que se trituraban finamente para obtener el máximo poder cubriente. En la ilustración se muestran algunos de estos pigmentos en uso todavía en las pinturas al fresco y al encausto.



GLOSARIO DE LAS CLASES DE COLORANTES

clase	naturaleza química	campos de aplicación	observaciones
colorantes ácidos	trifenilmetanos sulfatados, derivados de la antraquinona, derivados de colorantes azoicos	lana, seda y cuero; además, papel y nailon	el nombre deriva de su empleo en presencia de ácidos minerales u orgánicos
colorantes azoicos y sus componentes	compuestos de diazonio aromáticos estabilizados con bases orgánicas, tratadas con compuestos copulantes como los naftoles	fibras celulósicas como, por ejemplo, el algodón	a veces denominados colorantes al hielo
colorantes básicos	derivados del difenilmetano y del trifenilmetano, colorantes azoicos, tiazina, oxazina	lana y otras fibras proteicas; algodón, con auxilio de agentes mordientes; papel	la parte catiónica es el componente colorante. Los tipos más recientes son usados para fibras acrílicas
colorantes sustantivos	colorantes azoicos sulfatados y ftalocianinas	fibras celulósicas y en las mismas aplicaciones que los colorantes ácidos	empleados sin agentes mordientes ni tratamientos particulares del sustrato a colorear
colorantes dispersos	derivados azoicos o antraquinónicos que no contienen grupos hidrófilos	fibras de poliéster, acetato de celulosa y materias plásticas	empleados en dispersión o en suspensión. Se utilizan cada vez más frecuentemente
colorantes reactivos	todos los colorantes de estructura básica que contienen un grupo capaz de formar un enlace covalente con el sustrato, en particular, de tipo celulósico	algodón, rayón, nuevos tipos de lana, nailon	la más reciente clase de colorantes, el grupo reactivo es el cloruro de cianina
agentes blanqueadores fluorescentes	estilbenos, oxásolos y triázolos sustituidos	todos los sustratos	tienen la característica de absorber las radiaciones U.V. y de emitir radiaciones en la banda del azul, acentuando por tanto el blanco de los tejidos
colorantes para fármacos, cosméticos y alimentos	trifenilmetanos, colorantes antraquinónicos, azoicos e indigoides	alimentos, fármacos y cosméticos	se aplican disposiciones muy severas sobre el grado de pureza y el contenido de los constituyentes secundarios
colorantes de mordiente	colorantes azoicos y antraquinónicos que contienen grupos capaces de formar combinaciones metálicas	algodón y otras fibras celulósicas, lana y otras fibras proteicas	forman complejos metálicos con el sustrato con el consiguiente aumento de la velocidad de la tintura
colorantes para disolventes	colorantes azoicos y antraquinónicos que no contienen grupos hidrófilos, solubles en disolventes orgánicos	materias plásticas, madera, productos petrolíferos, tinta para plumas estilográficas	empleados cuando es necesaria la solubilidad en fase orgánica
colorantes al azufre	para muchos de estos colorantes la estructura química no ha sido todavía bien definida. Son obtenidos por reacciones de polisulfúricos con sustancias orgánicas. Muchos tipos contienen estructuras de base fenotiacínica	fibras celulósicas	una de las clases más tradicionales de colorantes
colorantes de tina	la mayoría derivados antraquinónicos	algodón y otras fibras celulósicas	sus estructuras son de las más complejas

las resinas alquídicas se fabrican muchas otras resinas sintéticas (fenólicas, maleicas y ésteres de colofonia) que se pueden mezclar con aceite de linaza y otros aceites secantes, y que han sustituido a las resinas naturales. El empleo de resinas sintéticas en dispersión acuosa permite la fabricación de pinturas al agua que dejan sobre la pared un recubrimiento lavable y, en muchos casos, resistente durante largo tiempo a los agentes atmosféricos (pinturas para exteriores).

Las resinas sintéticas más utilizadas son las dispersiones en acetato de polivinilo y, en menor medida, las dispersiones poliacrílicas, butadieno-estirénicas y otras similares.

Proceso de fabricación La operación mediante la cual los pigmentos se dispersan finamente en la sustancia aglutinante se llama *trituración* y se efectúa con máquinas adecuadas (molinos de bolas, refinadoras de cilindros y turbodispersores) que ejercen una acción mecánica sobre los aglomerados de partículas del pigmento, separando dichas partículas y dispersándolas uniformemente en el aglutinante.

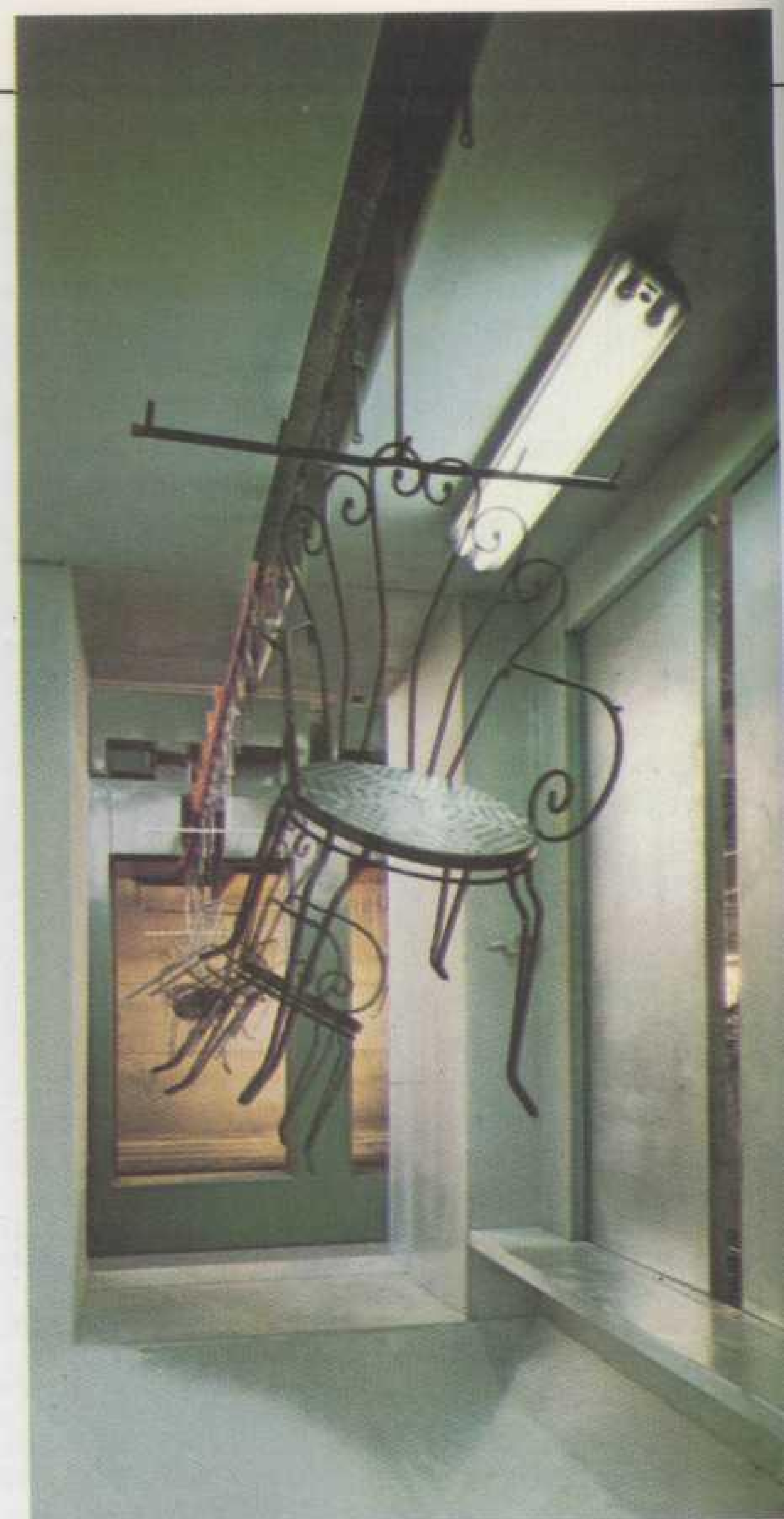
Los molinos de bolas constan de tres rodillos que giran a velocidades diferentes, lo que proporciona una acción de presión y cortadura (deslizamiento) y la obtención de una película más uniformemente repartida. Una cuchilla raspadora longitudinal desprende la pasta del rodillo frontal, ya sea para molerla más finamente o envasarla para la venta.

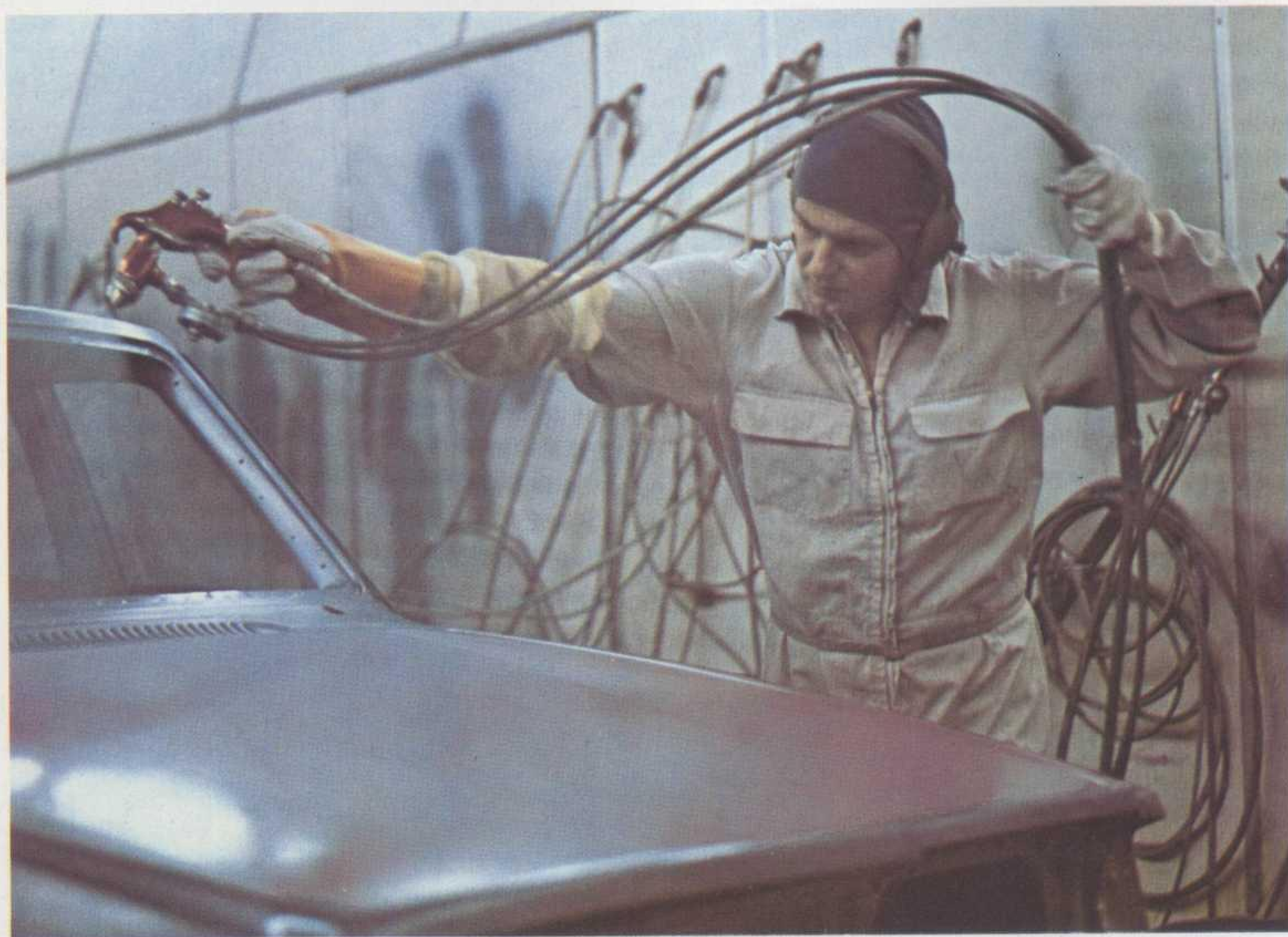
De los molinos de bolas deriva el molino de arena. Consta de un cilindro vertical que contiene arena en partículas muy reducidas o minúsculas cuentas de vidrio, y es impulsado a gran velocidad por un propulsor multidisco. Una bomba obliga a la pasta, formada por la mezcla de los pigmentos con el aglutinante, a entrar en la zona de molienda donde se produce la dispersión por frotamiento entre las pequeñas partículas de arena.

Barnices Los barnices y las pinturas presentan numerosos puntos en común. La diferencia fundamental es que los barnices, por lo general, no contienen los pigmentos que en el caso de las pinturas recubren su superficie con un estrato opaco (mate o brillante).

El término barniz parece derivar del nombre de la reina egipcia Berenice, que vivió alrededor del año 250 a. de C. En aquella época el ámbar era frecuentemente empleado como componente de los barnices por cuanto tenía un color similar al de los cabellos de la reina. Los romanos adoptaron el nombre transmitido por los egipcios de *verniz* y como tal se ha conservado casi inalterado hasta nuestros días.

El barniz común estaba constituido por aceites vegetales (principalmente de linaza) que se secaban al aire y en los que se disolvían en caliente resinas naturales.





Con el desarrollo de las resinas sintéticas, en particular las alquídicas, fenólicas y maleicas, éstas han sustituido en gran parte a las naturales, del mismo modo que al aceite de linaza se han añadido el aceite de tung, el aceite de ricino deshidratado y otros aceites secantes. Estos barnices, llamados *barnices grasos* por su composición, se secan por oxidación, es decir, el oxígeno atmosférico se combina químicamente con los aceites y los transforma en una película transparente, sólida y resistente. Para hacerlos más fluidos y fácilmente aplicables, pueden desleirse con disolventes, de los cuales el mejor es el aguarrás vegetal (esencia de trementina).

Los *barnices con disolvente* o *lacquers* no contienen aceites secantes y el secado se efectúa sólo por evaporación del disolvente: sobre la superficie barnizada queda una delgada película, dura y brillante, de resina. De este tipo es el barniz de alcohol, compuesto de goma laca (resina natural obtenida como secreción de algunas especies de insectos) disuelta en alcohol. La adición de resinas sintéticas y plastificantes ha hecho posible la elaboración de *barnices a la nitrocelulosa* que forman, después de su aplicación, películas tenaces, duras y flexibles: el secado es muy rápido, lo que ha permitido utilizarlos en las producciones industriales en serie (barnizado de automóviles y muebles).

A partir de la II Guerra Mundial comenzaron a producirse a escala industrial los denominados *barnices catalizados*, los cuales se endurecen después de su aplicación debido a un producto catalizador que actúa como endurecedor. Este se mezcla con el barniz al efectuar el recubrimiento o como máximo pocas horas antes. Estos barnices se dice que son de *dos componentes* y tienen una amplia utilización en la industria del mueble, en el campo automovilístico, aeronáutico y naval; en el sector de electrodomésticos y en la construcción (barnices para suelos, etc.); los revestimientos obtenidos mediante su aplicación presentan gran dureza y elevada resistencia al agua, a los disolventes y a los agentes químicos.

Los *barnices bituminosos*, conocidos desde hace tiempo, pero aún muy utilizados en la actualidad con fines protectores (impermeabilizantes y anticorrosivos), son eficaces y de bajo coste y se obtienen diluyendo en hidrocarburos alquitrán, pez o betún.

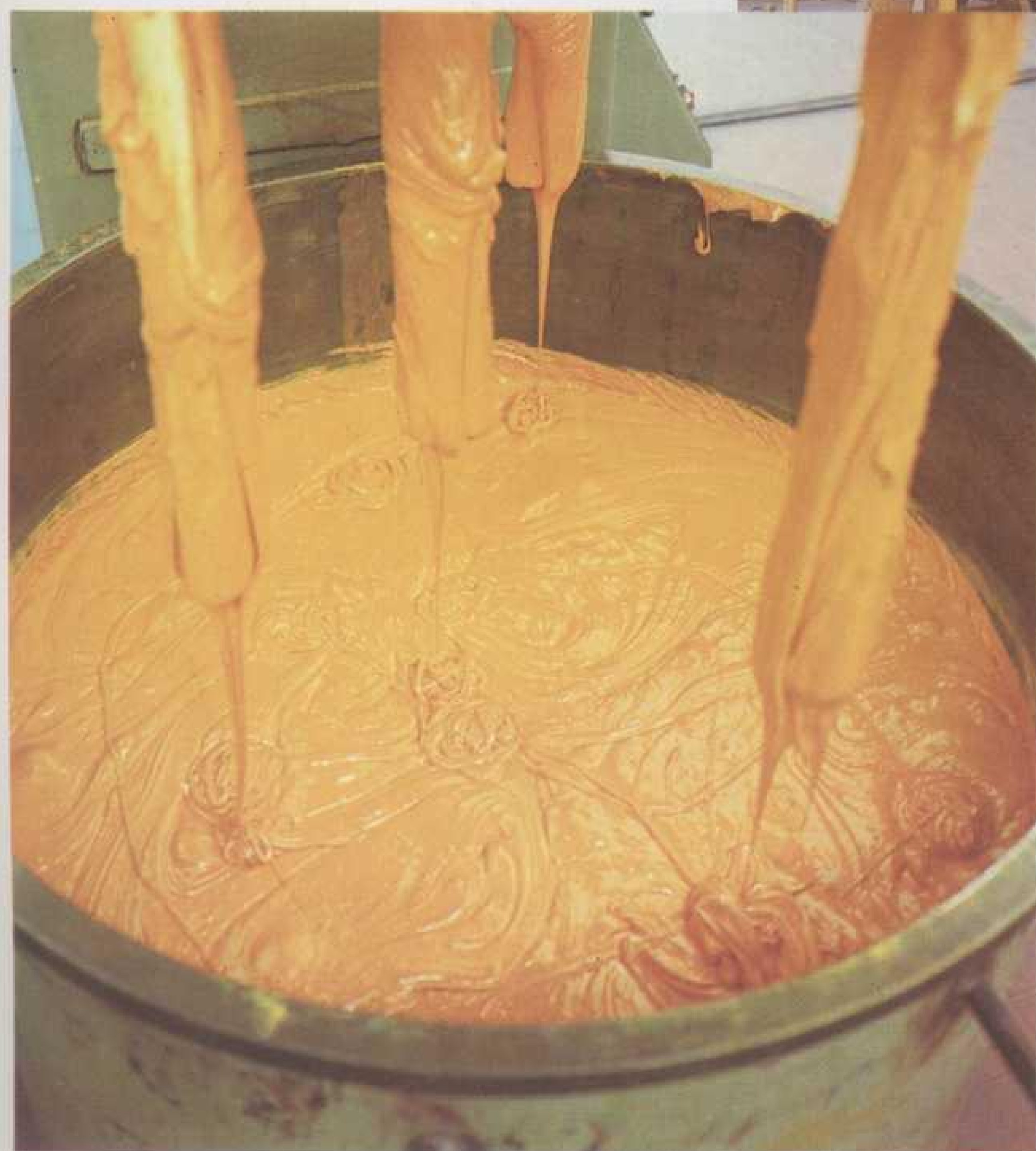
Los barnices se utilizan también frecuentemente en los recubrimientos aislantes de cables y como aglutinantes en la fabricación de pinturas.

Veáse **Carpintería; Cerámica; Colorantes; Disolventes; Ebanistería; Esmaltado; Madera**

En la página anterior, abajo, una figura que esta destinada a desaparecer de la iconografía industrial, el barnizador a pistola o pulverizador. En la actualidad este trabajo es realizado casi siempre por robots que tras haber sido programados sobre cómo moverse para aplicar el barniz, pueden reproducir con eficacia el movimiento de un operador humano. Arriba, interior de un horno para el secado del barniz. Los de secado rápido a menudo se enfrían rápidamente lo que provoca en su superficie la condensación de humedad que altera luego el aspecto de la cubierta. Por ello se tiende cada vez más a hacer uso de barnices en polvo capaces de disolverse en el horno y de fundirse sin problemas. Bajo estas líneas, serie de molinos de bolas para la trituración de los pigmentos; y más abajo, un molino simple para la trituración de pastas en vez de polvos.



Bajo estas líneas, una máquina de empaste para elaborar barniz. El color se obtiene de la mezcla de algunos tintes fundamentales, si bien la teoría del color establece que a partir de tres colores base, combinados de acuerdo con una ley de proporciones, pueden conseguirse todos los otros. Resulta, pues, evidente que cuanto mayor sea la gama base de colores, más fácil será el conseguir cualquier otro.



Un factor de prestigio para un fabricante de pinturas y barnices es la variedad de la llamada "carta de colores", es decir, el surtido de todos los tintes posibles. Pero esto conlleva grandes problemas de almacenaje y distribución. Generalmente es posible encontrar en el mercado una máquina que empasta para el cliente al detalle el color requerido según una carta amplísima a partir de una docena de tintes fundamentales, lo que constituye un considerable ahorro.

Pistola

La pistola es una pequeña arma de fuego que puede ser automática o "de tambor" (revólver) y que se utiliza con una sola mano. Desde el punto de vista histórico su evolución está estrechamente unida a la de las armas de fuego de mayor tamaño, como los mosquetes y los fusiles.

Todas las armas de fuego, cualquiera que sea su uso y calibre, se componen de tres partes fundamentales: un cilindro o cañón, mediante el cual se dirige el proyectil, que es impulsado por la presión de los gases producidos con la deflagración de la pólvora; un mecanismo para iniciar la deflagración y otro para el control de la misma, llamado cierre o "cerradura" porque originariamente era construido por los fabricantes de cerraduras.

Las primeras pistolas Las armas "de bolsillo" son más bien antiguas, habiéndose comenzado a utilizar a finales del siglo XIV. Las primeras eran poco más que cañoncitos sostenidos con las manos y con las cuales se hacía fuego colocando una mecha encendida en contacto con la pólvora de la carga a través de un pequeño orificio llamado "fogón".

El primer verdadero antepasado de la pistola fue el arcabuz, aparecido hacia finales del siglo XV, que se disparaba accionando un gatillo que movía una mecha encendida hacia el mecanismo de ignición. El arcabuz fue sustituido por el fusil de rueda, provisto de un mecanismo que incendiaba la pólvora, produciendo una lluvia de chispas. A comienzos del siglo XVII apareció el pedernal, que originaba las chispas necesarias mediante su roce contra el acero.

El tipo de mecanismos de cierre en todas las primitivas pistolas las hacía muy pesadas, lentas de cargar, peligrosas y de poca confianza en su utilización. A comienzos del siglo XIX, el mecanismo de estas pequeñas armas se revolucionó con el descubrimiento de A. J. Forsyth del sistema de percusión para el cebado de la pólvora. El feliz hallazgo que hizo posible el método de percusión fue la primera de una serie de innovaciones posteriores que hicieron posible la fabricación de las pistolas modernas.

El revólver Colt La mayor parte de las primeras armas de fuego era de disparo a disparo y de avancarga. Es decir, que después de cada disparo, para volver a cargar el arma, era preciso introducir en el cañón una cierta cantidad de pólvora y hacer resbalar hasta su sitio un nuevo proyectil. En 1836 Samuel Colt patentó el *revólver* o pistola "de tambor", que hacía posible la repetición de los disparos mediante un tambor giratorio dotado de unos alojamientos cilíndricos, por lo general seis, donde se introducían otros tantos cartuchos. Una vez efectuado el disparo, al oprimir de nuevo el gatillo se producía el giro del tambor y aparecía en posición de disparo un nuevo cartucho.

Colt registró diversas pistolas de repetición de diferentes calibres y pesos, algunas para uso militar. Así mismo la compañía "Smith & Wesson" proyectó y fabricó armas similares durante la misma época. Más tarde se introdujo un mecanismo de doble acción para asegurar una mayor velocidad de tiro y más confianza en el manejo del arma.

Las pistolas automáticas Las pistolas automáticas, actualmente en uso, son armas sencillas, precisas y de poco peso, que pueden ser rápidamente cargadas entre disparo y disparo. Derivan, en parte, del fusil *Gatting* y de las primeras ametralladoras que aparecieron en Estados Unidos después de la Guerra de Secesión. Una de las pistolas automáticas más conocidas es la alemana *Luger* calibre 9 milímetros, que entró en servicio alrededor de 1908. El funcionamiento automático de este tipo de pistolas se basa en el aprovechamiento de la fuerza de retroceso de cada disparo, que sirve para abrir la recámara, expulsar la vaina, introducir un nuevo cartucho, montar el arma e, incluso, dispararla.

Las piezas más importantes de una pistola automática son: el *cañón*, del que forma parte la recámara y el cierre, atrave-

muesca de mira regulable
proyectil en recámara
tambor
cañón
punto de mira
percutor
corona dentada
muelle principal
recámara vacía
palanca para la rotación del tambor
seguro del tambor
palanca del gatillo
gatillo
muelle del gatillo
armazón
culata

A la izquierda, partes de un revólver. Este tipo de pistola es, en muchas versiones, más pesada que la automática, aunque esto puede ser una ventaja desde el punto de vista de la precisión de tiro. En el contacto entre el tambor y la parte anterior de la jaula que lo cierra existe, en los modelos menos precisos, una pequeña pérdida de gas que hace el disparo más débil que en la automática.





Museo Stibbert, Florencia



Victoria and Albert Museum, Londres

A la izquierda, dos pistolas de los siglos XVI y XVII. Podían hacer un solo disparo cada vez y eran de avancarga. Debían limpiarse y cargarse muy cuidadosamente. El encendido de la pólvora se efectuaba por medio de las chispas producidas por un pedernal. A pesar de estas características primitivas, su único disparo era mortal a pequeña distancia: a menudo se fabricaban modelos embellecidos con cincelados e incrustaciones.

sado por la aguja percutora; la *corredera*, a la que está atornillado el cierre; el *punto de mira*, y la *empuñadura*, que contiene el cargador, el disparador, los mecanismos de los seguros y el martillo percutor. El cargador contiene de 6 a 20 cartuchos. Los calibres más frecuentes en las pistolas automáticas son 6,35, 7,63, 7,65 y 9 mm.

Durante la I Guerra Mundial apareció la pistola ametralladora, provista de un cargador largo y de un culatín para apoyar en el hombro. Actualmente este tipo de pistola ha sido sustituido por el subfusil, de mayor alcance y precisión. Entre las pistolas especiales se pueden citar la de iluminación —que lanza artificios destinados a iluminar una zona próxima— y la de señales —que dispara cartuchos de diversos colores que tienen diferentes significados y se emplean según un código preestablecido.

Véase **Ametralladora; Fusil**

Abajo, sección de una pistola automática Colt 45 M1911 Al. Alimentar el cargador en este modelo es muy fácil y rápido; por eso se prefiere como arma de uso militar. El automatismo se produce por aprovechamiento de la energía de retroceso del disparo. Según el tipo de pistola, al producirse el disparo retrocede el cañón y el mecanismo de cierre, o bien, solamente este último. En la página anterior, abajo, tres modalidades de apertura y de expulsión de las vainas vacías.

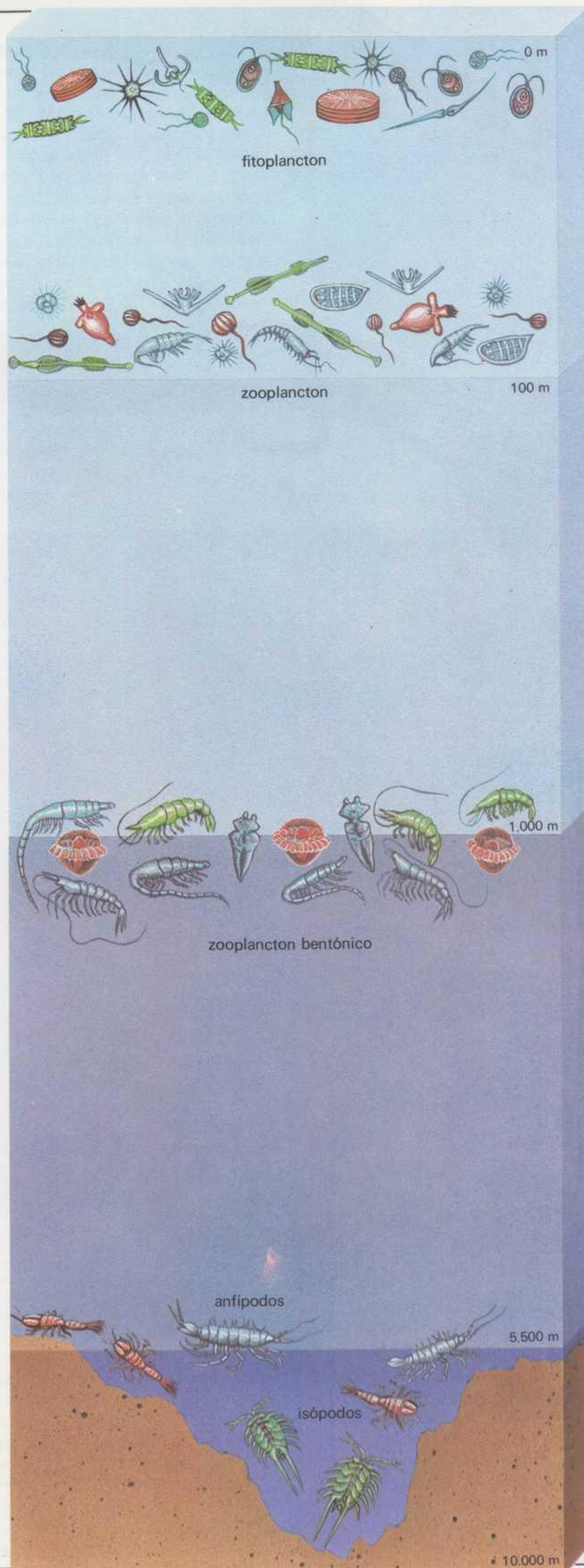
Plancton

El plancton constituye un buen ejemplo de la "fuerza" del número: los organismos que lo forman, que suelen ser minúsculos y pueblan las aguas dulces y marinas, pueden ser tan numerosos como para llegar a colorear todo un mar, como sucede con el Mar Rojo, o como para formar grandes manchas luminosas en la superficie de los océanos. Al morir, los esqueletos de estos diminutos organismos se precipitan al fondo y forman sedimentos calcáreos y silíceos. Ciertos organismos planctónicos de agua dulce, como las algas azules y verdes, llegan a formar una espuma que puede recubrir totalmente la superficie de un estanque. Aunque algunas especies de plancton se pueden observar a simple vista, como sucede con las grandes medusas en forma de sombrilla, en la mayoría de los casos los organismos que lo constituyen son tan pequeños que atraviesan las redes más finas y sólo se pueden ver al microscopio. Es su cantidad lo que les confiere su papel de elemento fundamental en las cadenas alimentarias acuáticas.

Clasificación del plancton El término griego "plancton", que significa "errar sin meta", designa una de las principales características de todos los organismos planctónicos: tanto si está formado por vegetales unicelulares como por animales pluricelulares, el plancton se deja arrastrar por el agua. Sólo de forma muy parcial algunos organismos planctónicos son capaces de controlar sus movimientos. Por esta razón se considera el plancton una especie de pasto marino. Al igual que la hierba constituye el alimento de los herbívoros terrestres, el plancton constituye el pasto de muchos animales marinos, así como la principal fuente de proteínas de las cadenas alimentarias oceánicas. Ningún animal marino, desde las actinias a las ballenas, podría sobrevivir de no existir el plancton.

Las clasificaciones que se pueden hacer del plancton son exhaustivas, debido a la gran variedad de grupos vegetales y animales que en él están representados. Una de las clasificaciones se basa en las dimensiones de los organismos que lo forman: los de menor tamaño constituyen el llamado *ultraplancton* (talla inferior a 5 micras); comprende sobre todo a las bacterias. El *nanoplancton* (entre 5 y 50 micras) comprende, entre otros, las diatomeas más pequeñas y los dinoflagelados. La categoría siguiente es el *microplancton* (de 50 micras a 1 mm), en el que se incluyen las diatomeas medianas o grandes y gran parte de los crustáceos copépodos. En el *mesoplancton* se incluyen aquellos organismos cuyo tamaño oscila entre 1 y 5 mm, y en el *macroplancton* los que superan los 5 mm. Por último, el *megaloplancton* incluye organismos de más de 5 centímetros.

Otra clasificación muy frecuente es la que divide el plancton en *zooplancton* o plancton animal, formado por animales, y *fitoplancton* o plancton vegetal, responsable de la productividad primaria.



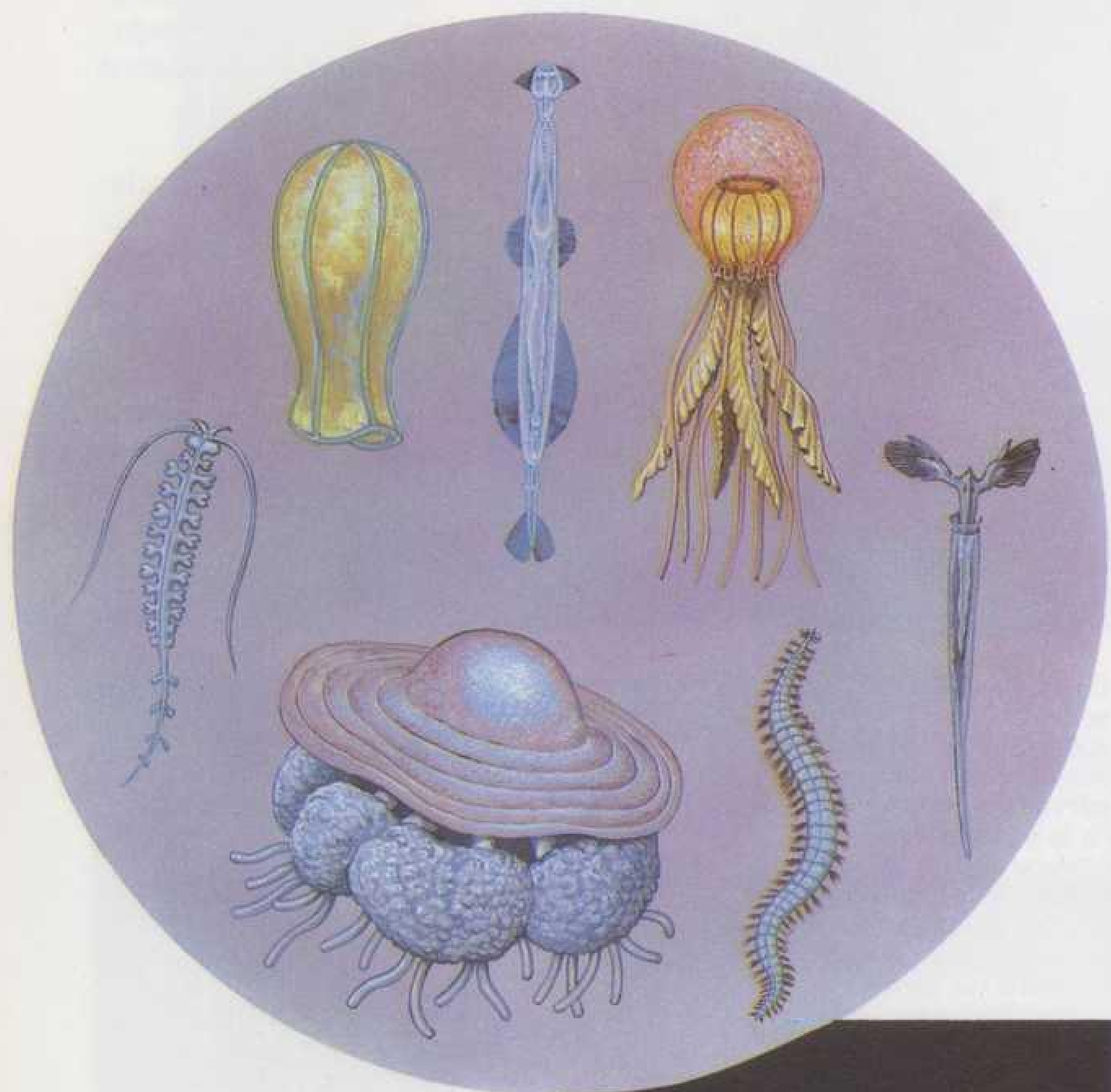
Fitoplancton El fitoplancton está formado, esencialmente, por vegetales pertenecientes al numeroso y heterogéneo grupo de las algas, que probablemente constituyen las formas de vida más antiguas sobre la Tierra. La velocidad de reproducción de estos minúsculos organismos es prodigiosa: se forman alrededor de 200.000 millones de toneladas de fitoplancton por año. La mayor parte de estas algas son diatomeas y dinoflagelados. Estos últimos, que son unicelulares, poseen un par de flagelos que les permiten una limitada locomoción. Los dinoflagelados más grandes no pasan de 0,2 mm, por lo que resulta muy difícil distinguirlos a simple vista. Algunas especies de dinoflagelados tienen propiedades bioluminiscentes (emiten luz). Hay una especie, *Goyaulax polyedra*, que puede hacer brillar nuestras huellas sobre la arena cuando damos un paseo nocturno por la playa. Es también una de las causas de los vistosos fenómenos de enrojecimiento que a veces se observan en las aguas, y que en algunos casos suelen ir acompañados por la producción de fuertes toxinas que pueden hacer peligrar la vida de los peces.

Las diatomeas, vegetales unicelulares, muchas veces se asocian entre sí formando cadenas con el aspecto de microscópicos filamentos. Suelen tener un color marrón verdoso y miden entre 2 micras y 2 milímetros, por lo que en algunos casos se distinguen a simple vista. Están encerradas en cápsulas silíceas, que al acumularse en el fondo del océano pueden formar una capa de grosor considerable. Al cabo de mucho tiempo, cuando los movimientos geológicos hacen que los fondos oceánicos se conviertan en plataformas continentales, esta capa forma la llamada *tierra* o *barro de diatomeas*, que se emplea industrialmente por sus propiedades absorbentes y abrasivas.

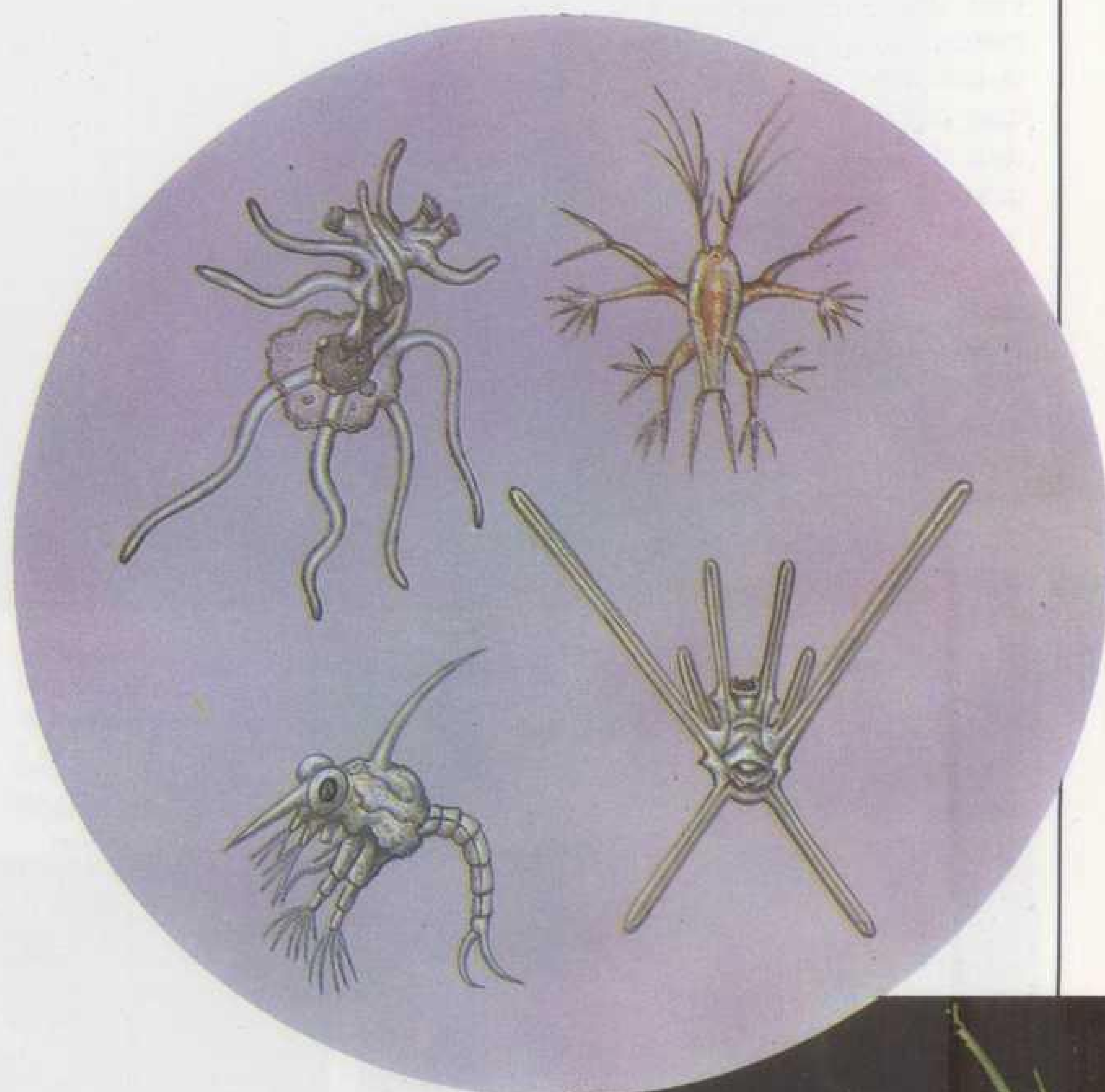
Hay un tercer tipo de organismos en el fitoplancton, los cocolitofóridos, algas minúsculas con armadura de placas calcificadas y dos flagelos.

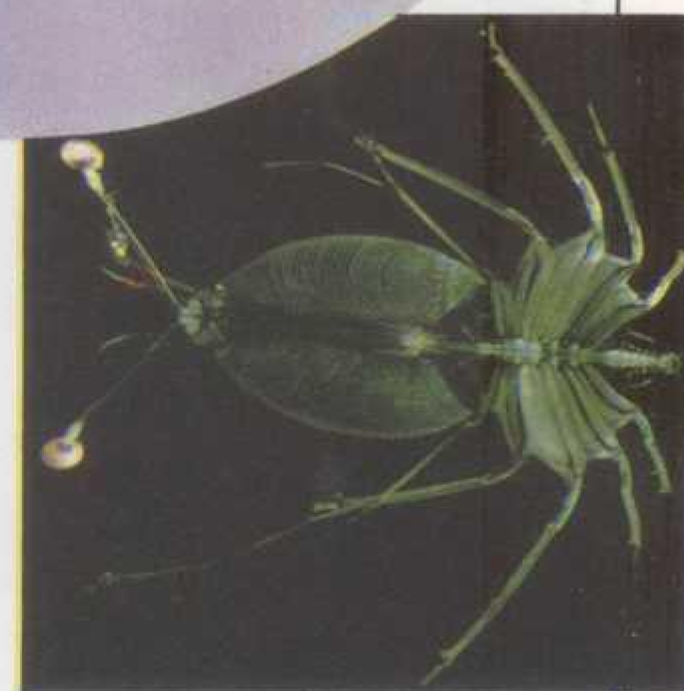
La mayor parte del fitoplancton contiene clorofila, lo que significa que puede obtener energía del Sol para producir, a través de la fotosíntesis, hidratos de carbono (compuestos esenciales para la vida) y, a partir de estos, sintetizar el resto de sus componentes orgánicos.

Zooplancton Casi todos los grupos animales están representados en el zooplancton. Ello es debido en parte a que los huevos y las larvas de muchos organismos marinos (moluscos, crustáceos y peces) son arrastrados por el agua, por lo que durante algún tiempo se convierten en parte integrante del plancton. Debido a que estos organismos sólo forman parte del plancton durante un cierto período de todo su ciclo vital, se les denomina con el nombre genérico de plancton temporal. Por lo general, las dimensiones del zooplancton son mayores que las del fitoplancton. El zooplancton lo forman muchísimos tipos de animales en diferentes fases de su desarrollo: desde los gusanos hasta los celentéreos (las larvas de los corales, por ejemplo), pasando por los ctenóforos, los moluscos, los protozoos, los pterópodos o los crustáceos. Los flagelados, que son los representantes más pe-









En el plancton hay organismos vegetales y animales que viven en el ambiente pelágico durante toda su existencia, y otros que sólo lo hacen durante una parte de su ciclo vital. Los primeros constituyen el holoplancton (izquierda); los segundos forman el meroplancton (derecha), constituido por huevos y diversas fases de desarrollo de distintos organismos marinos (moluscos, peces, etc.), además de esporas y gametos de plantas marinas. Algunos organismos del plancton miden más de un metro (como las cadenas de salpas y medusas), mientras que otros apenas pasan de unas pocas micras.

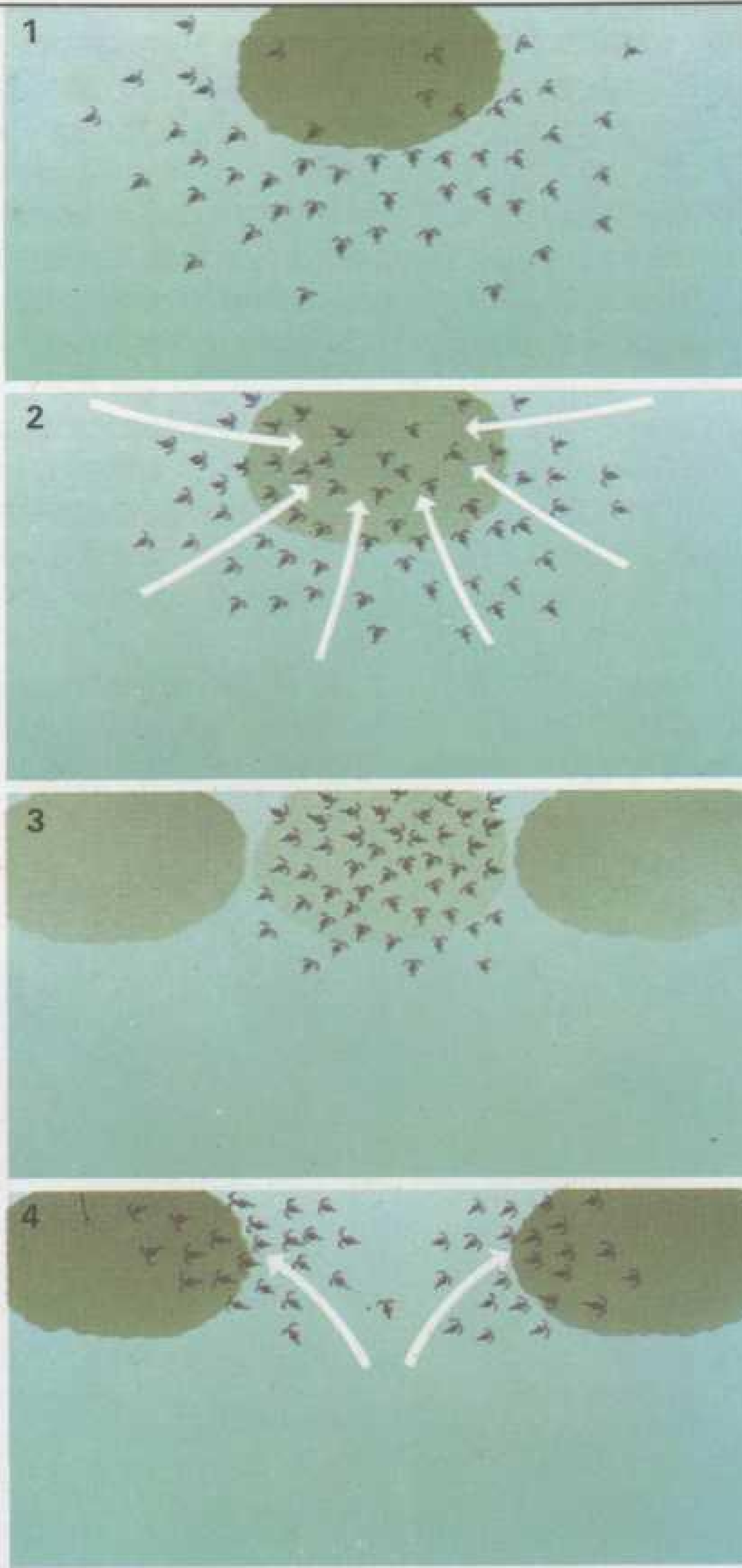
En la página anterior, esquema de la distribución del plancton en función de la naturaleza del agua de mar. Las variaciones son mucho más significativas en el sentido vertical que en el horizontal; la presencia de fitoplancton en las capas superficiales depende de la cantidad de luz solar que se filtra y que determina la temperatura de las distintas capas de agua y la concentración de sustancias nutritivas en la superficie. La "profundidad de compensación" señala el lugar donde se dispone de la menor intensidad de luz a la que pueden sobrevivir las plantas.

queños del zooplancton, constituyen un puente de unión evolutiva entre éste y el fitoplancton.

Los crustáceos son los organismos con mayor importancia económica dentro de la población zooplanctónica. Muchos son herbívoros y "pastan" los vegetales planctónicos; constituyen un eslabón importante en la cadena alimentaria, ya que son el principal alimento de los peces jóvenes. Entre los crustáceos destaca el krill, un pequeño eufausiáceo de las aguas antárticas, que sólo mide unos 5 cm, pero que constituye el principal alimento del animal más grande existente, la colosal ballena azul.

El ciclo vital del plancton Las poblaciones que constituyen el plancton aumentan y disminuyen según ciclos regulares a lo largo del año; este ritmo, a su vez, influye en otras poblaciones de animales marinos. El origen del ciclo está en la actividad fotosintética del fitoplancton, que depende de la luz, de la disponibilidad de sustancias nutritivas y, en menor grado, de la temperatura.

El fitoplancton, al igual que el resto de los vegetales, necesita materias primas para su desarrollo: dióxido de carbono y sales minerales (fosfatos y nitratos). Estos materiales abundan en las aguas marinas durante el invierno, cuando, sin embargo, la luz es más escasa, de manera que en esta estación el desarrollo de los vegetales planctónicos es moderado, excepto en las regiones tropicales.



La duración de la floración primaveral es limitada, ya que cuando el agua se calienta, en el verano, se establece una especie de barrera térmica que impide cualquier intercambio con el agua fría que hay debajo. Entonces se interrumpen las corrientes ascendentes de agua fría que aportan las provisiones de nitratos y fosfatos. Sin estas materias primas, la productividad vegetal desciende bruscamente. Durante el otoño el enfriamiento superficial de las aguas rompe la barrera térmica y favorece la ascensión de sales nutritivas. Pero más adelante la energía necesaria para la fotosíntesis va escaseando a medida que el Sol va bajando en el cielo.

En algunas zonas del océano, las aguas profundas afloran a la superficie de forma continua a causa de la topografía, de las corrientes y de los vientos que desplazan las aguas superficiales. Estas zonas señalan, por lo general, los mejores caladeros de pesca.

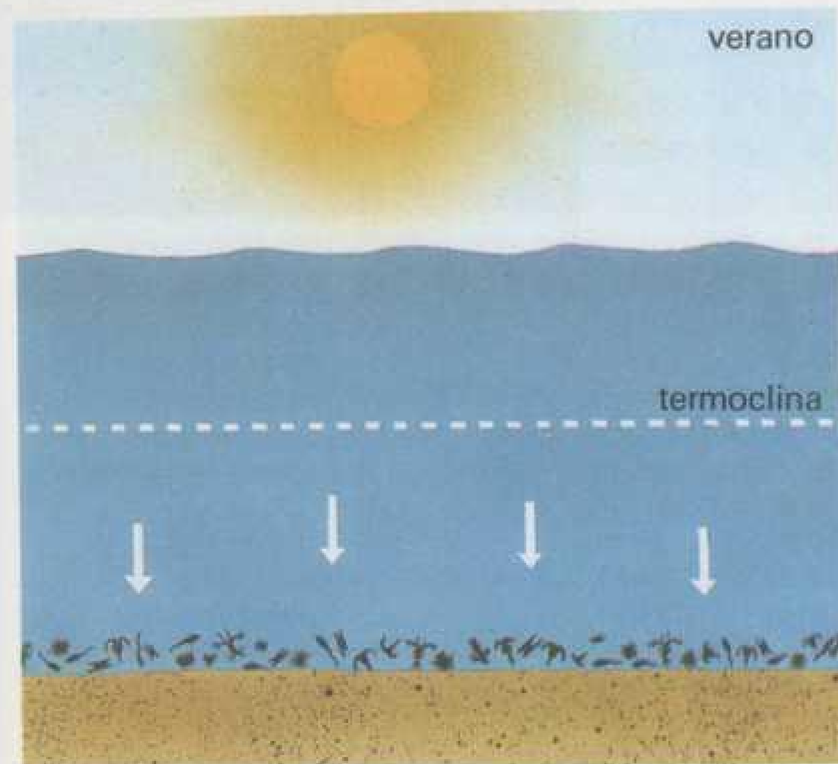
Importancia del plancton Es fundamental destacar la importancia del plancton en la cadena alimentaria. Ciertos tipos de algas cultivadas tienen un 50% de proteínas, aunque el hombre no las puede digerir directamente; las proteínas del plancton, para que puedan ser asimiladas por el hombre, tienen que ser previamente sintetizadas por los peces, crustáceos u otros animales marinos.

Véase **Algas; Biología marina; Oceanografía; Peces**



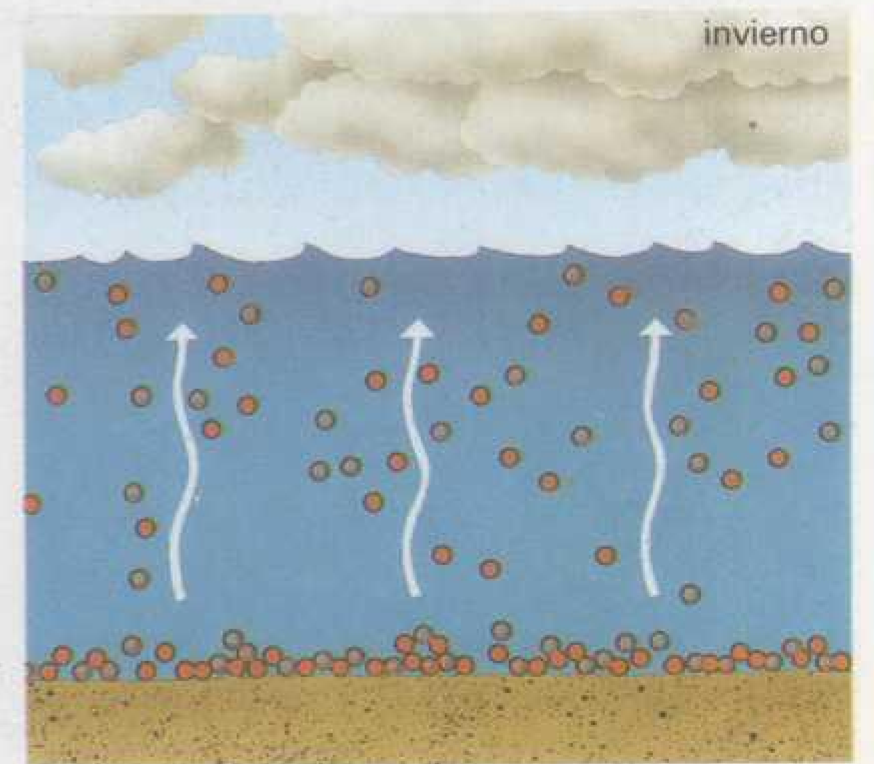
Ciclo estacional del plancton. Allí donde hay una gran actividad planctónica las aguas se enriquecen en nitratos (bolitas rojas) y en fosfatos (anillos rojos), debido a la caída de organismos muertos hacia las capas inferiores. Las bacterias descomponen los cadáveres y liberan las sales minerales. En primavera el Sol calienta las aguas superficiales, en las que se desarrolla el fitoplancton gracias a la presencia de fosfatos y nitratos. Cuando se van agotando las sustancias nutritivas, el plancton se estabiliza por debajo de la línea de la termoclina, a una profundidad de 30 a 50 metros; entonces se fertilizan las capas de agua más profundas. En otoño las aguas frías y cálidas se mezclan y florece el fitoplancton en la superficie. En invierno el mal tiempo hace que se sigan mezclando las aguas y las sales nutritivas se redistribuyen. Este es, en líneas generales, el →

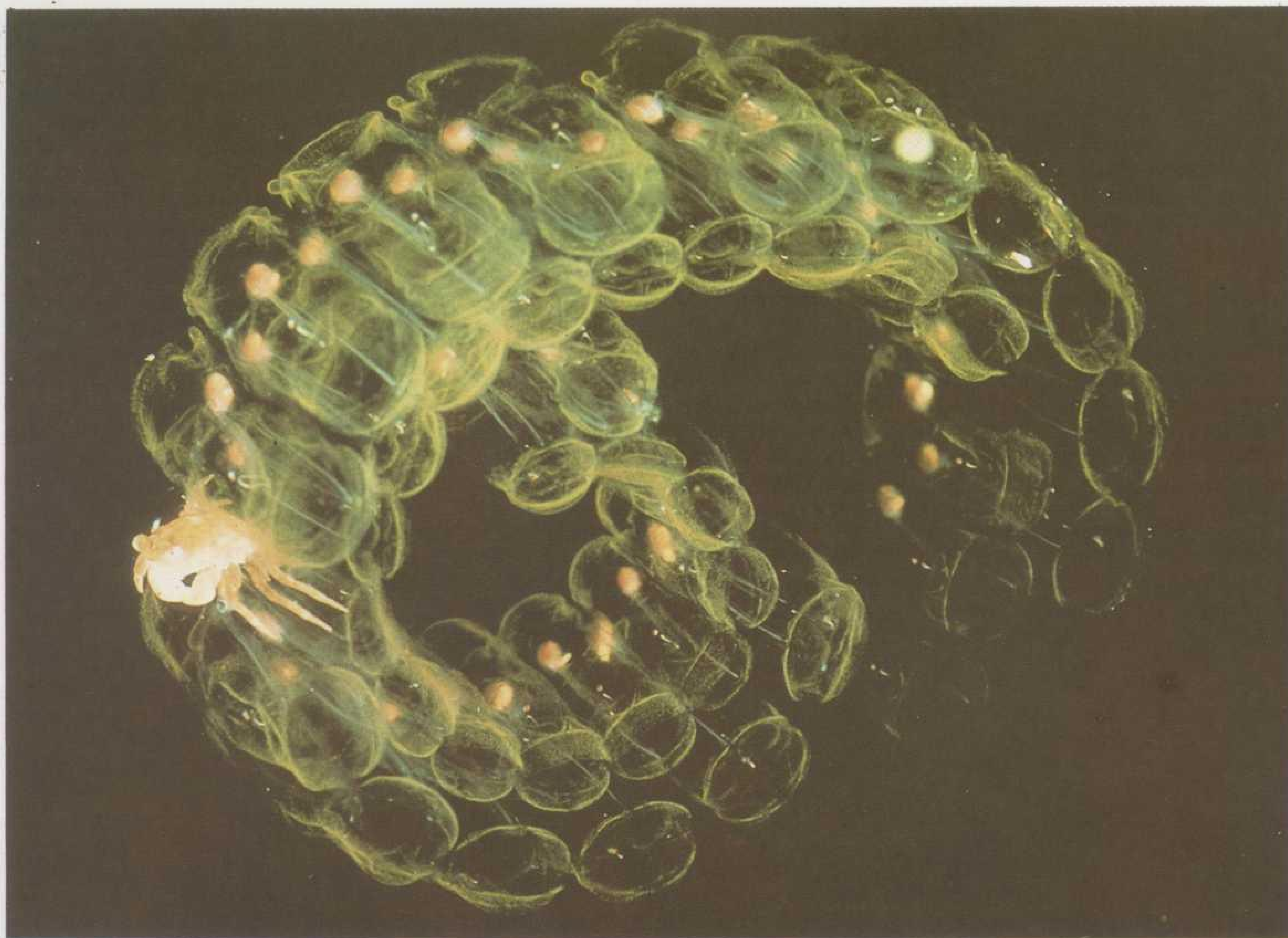




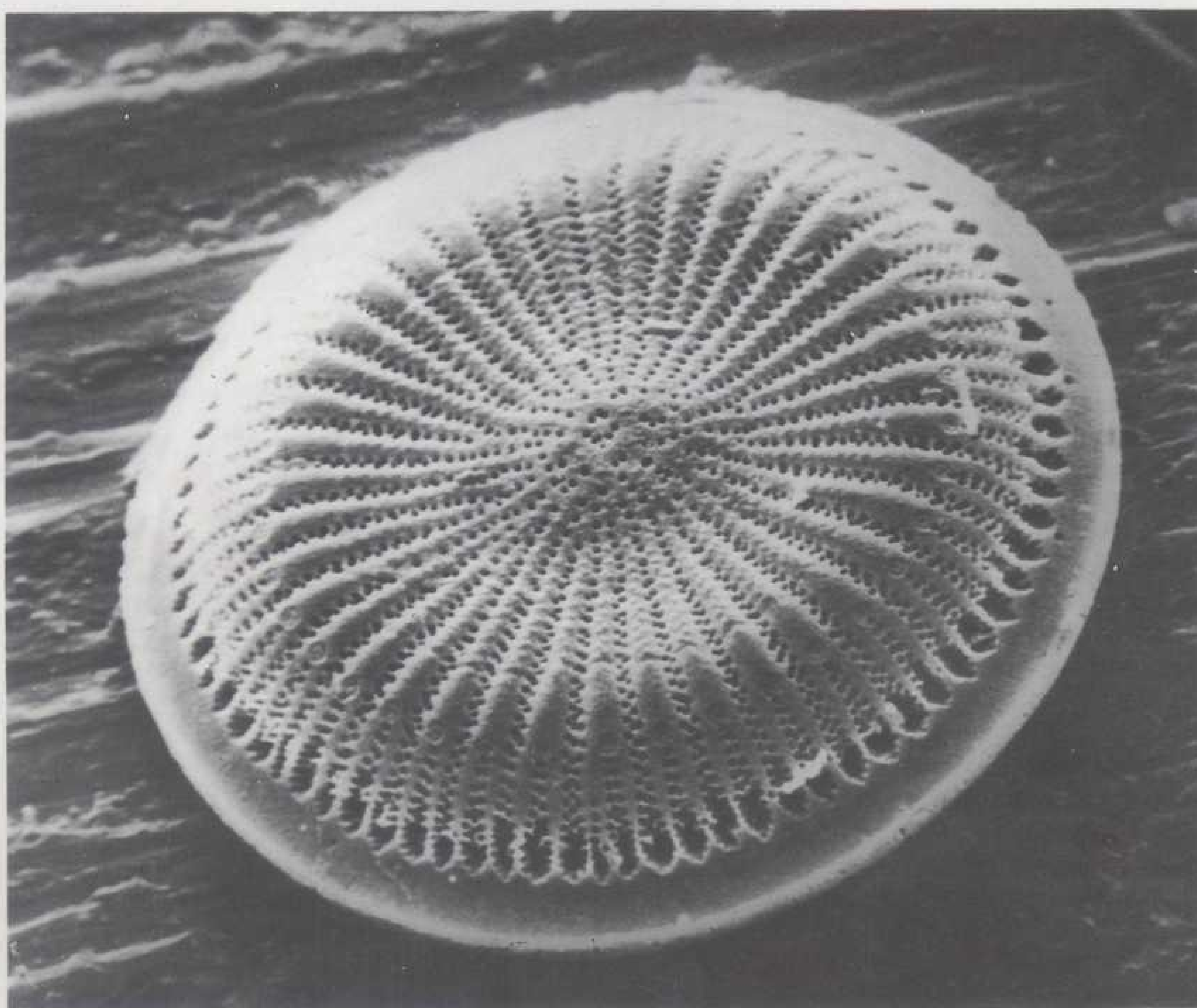
En primavera, al aumentar la intensidad de la radiación solar, el fitoplancton prolifera de forma asombrosa. Este espectacular crecimiento recibe el nombre de "floración".

Plancton y cadena alimentaria El fuerte aumento de la población de plancton vegetal favorece la proliferación del zooplancton. Este concentra las proteínas vegetales y las convierte en proteínas animales; es un alimento de excelente calidad para sus principales depredadores, los jóvenes peces. Por ello se puede observar cómo éstos se concentran en aquellos lugares donde se producen notables floraciones de fitoplancton.





→ ciclo estacional del plancton; la duración de los distintos períodos varía según la zona, el clima, la transparencia del agua, las corrientes, los vientos, etc. En la página anterior, arriba, esquema de la relación entre fitoplancton y zooplancton. Este último, atraído por la fuerte concentración de fitoplancton (1), cae sobre él y provoca su rarefacción (2) y desaparición (3). Mientras tanto, el fitoplancton se vuelve a desarrollar en zonas limítrofes (4), y se inicia un nuevo ciclo.





En esta página vemos algunos organismos planctónicos: en la parte superior se observa una bellísima cadena de salpas, tunicados pelágicos de cuerpo transparente. Justo sobre estas líneas, la fotografía muestra una concentración de copépodos, y, a nuestra izquierda, un alga diatomea fotografiada con un microscopio electrónico de barrido. Su rasgo característico es precisamente el esqueleto exterior esculpido con estrías, indentaciones y puntos dispuestos de tal modo que forman diseños muy delicados y atractivos. Además, su estructura encierra diminutas gotas de aceite que ayudan al alga a flotar.

Planeador

El planeador es un avión sin motor, diseñado especialmente para el vuelo en planeo. En su forma más simple el planeador se desliza sobre el aire en virtud de la fuerza de gravedad, despegando desde una zona elevada y aterrizando en un lugar más bajo, utilizando, para no estrellarse, la fuerza de sustentación ejercida por el aire sobre sus alas. En su forma más sofisticada, el planeador se llama también "velero" y puede vencer la fuerza de la gravedad utilizando corrientes de aire ascendente para alcanzar de esta forma importantes alturas y, en consecuencia, poder recorrer distancias considerables.

Los planeadores han desempeñado un papel de gran importancia en la evolución de la aviación. El pionero de la ciencia aeronáutica, el inglés sir George Cayley, construyó en 1849 un planeador capaz de transportar a un niño y, en 1853, otro en el que voló su propio chófer. En Alemania, Otto Lilienthal aportó notables mejoras en las técnicas de construcción gracias a las experiencias realizadas con una serie de planeadores pilotados, en los cuales se había utilizado, por primera vez, el ala arqueada que le había sido sugerida por sus observaciones del vuelo de los pájaros y que dotaba a sus aparatos de una fuerza de sustentación real. Los hermanos Wright mejoraron las posibilidades de control de vuelo con un mecanismo de torsión de las alas, que permitió la realización de virajes seguros.

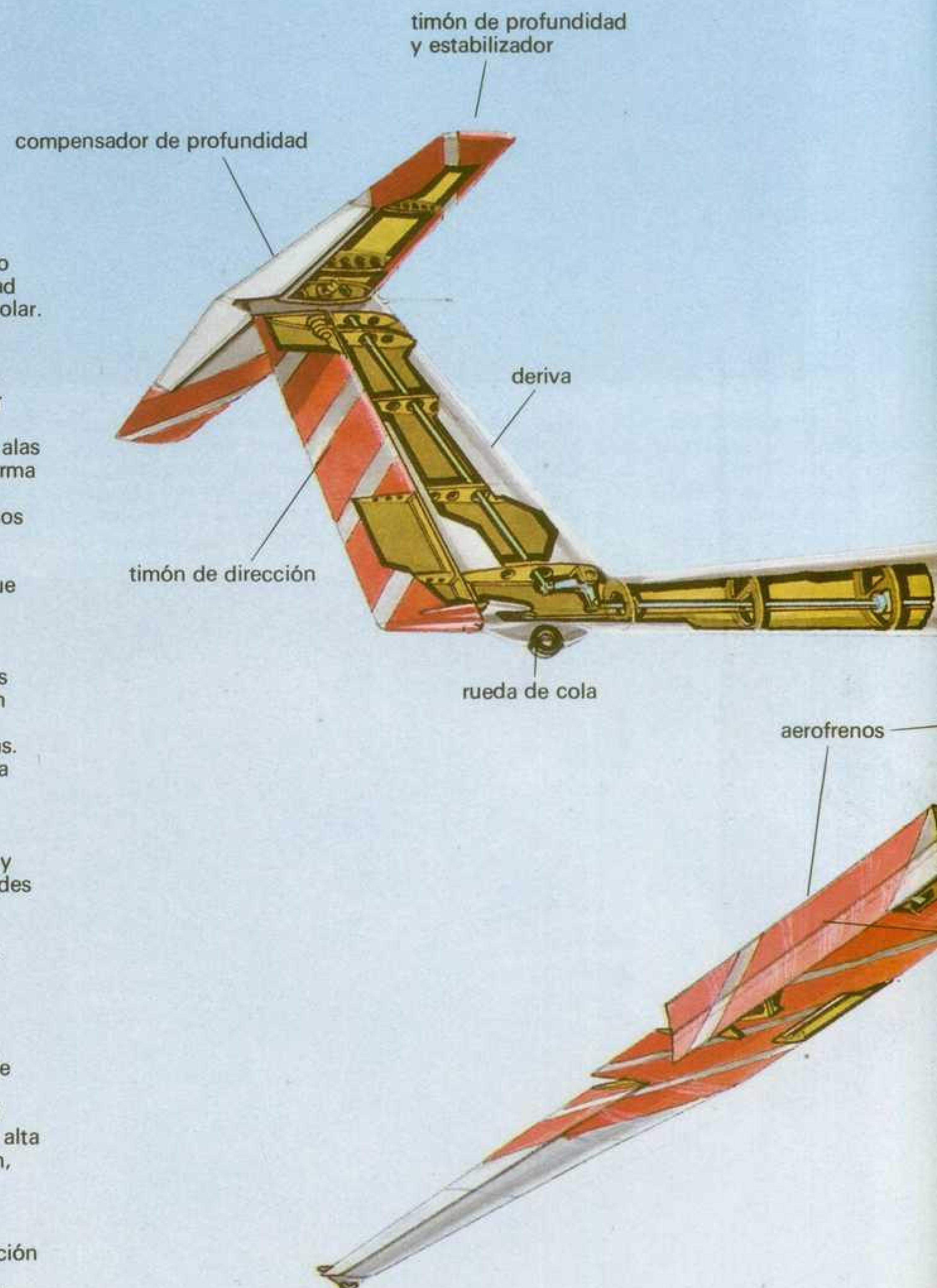
Fueron precisamente los hermanos Wright quienes realizaron posteriormente el primer vuelo con un planeador con motor, naciendo así la aviación propiamente dicha. Con el éxito de estos vuelos con motor se olvidaron los estudios de los planeadores, aunque algunos continuaron con fines deportivos.

Durante la II Guerra Mundial los planeadores militares destinados al transporte de tropas, material y abastecimiento fueron muy empleados por sus grandes ventajas: bajo coste, posibilidad de caer por sorpresa sobre el enemigo, corta carrera de aterrizaje, que no necesita pistas preparadas, etcétera.

El velero, proyectado para aprovechar las corrientes de aire ascendentes, es mucho más sofisticado. Sus características le permiten no sólo permanecer en el aire durante horas sino también elevarse, para lo cual se desplaza desde una corriente de aire ascendente (que se denomina térmica si es de aire caliente) a otra, pudiendo cubrir de este modo grandes distancias. La versión más perfeccionada del velero es el denominado de altas prestaciones, un espléndido aparato dotado de una línea aerodinámica tan perfecta que le permite volar centenares de kilómetros y alcanzar alturas máximas de aproximadamente 15.000 metros.

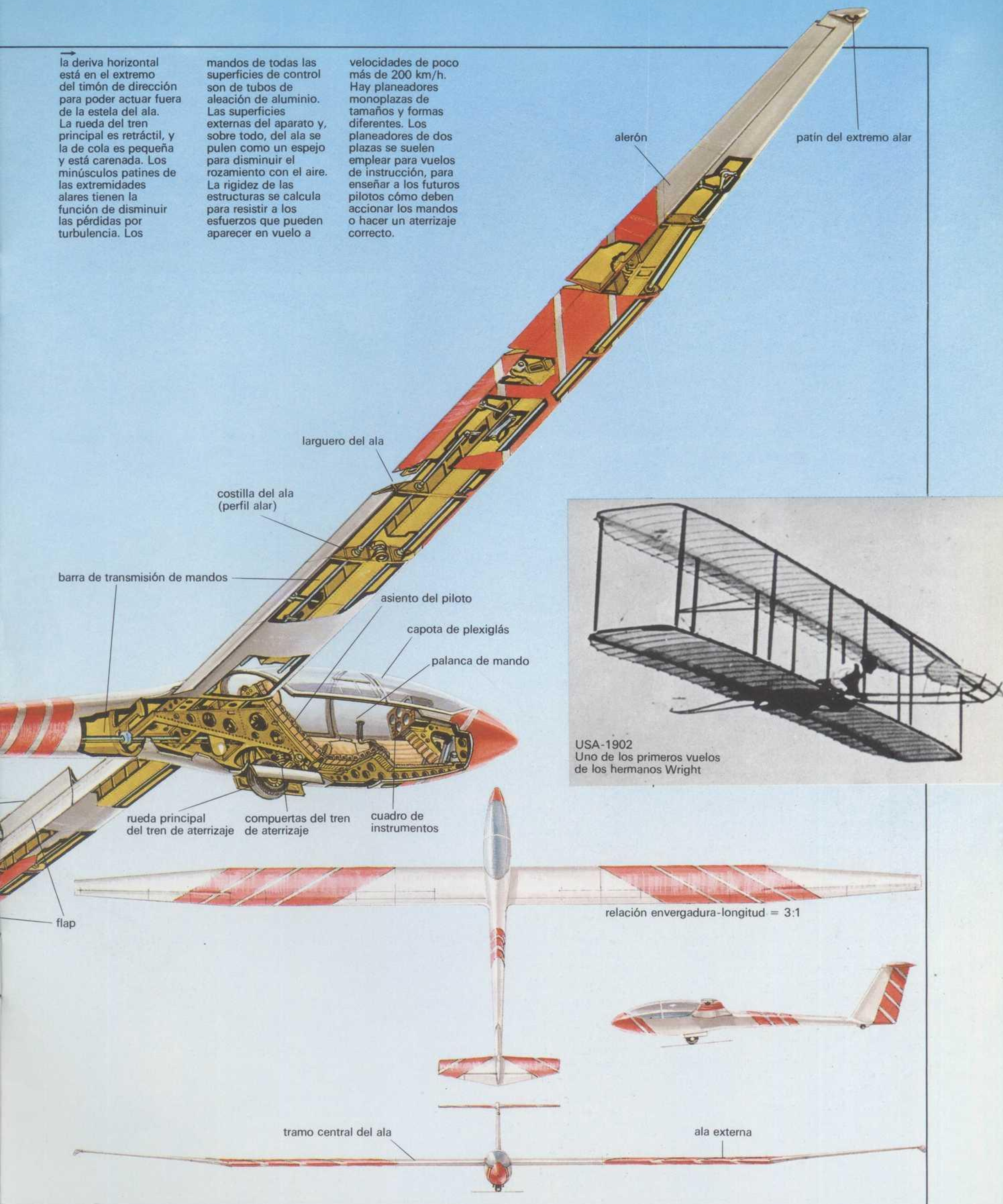
Las características fundamentales del velero, además de la de ser extremadamente maniobrable, son su ligereza y su resistencia estructural. Su instrumento principal es el *variómetro*, un indicador muy sensible de la velocidad ascensional que permite al piloto comprobar si su aparato sube o baja. La parte frontal del variómetro está dividida en dos zonas, una superior y otra inferior. Si la aguja oscila hacia arriba, el piloto sabe que se encuentra en una corriente ascendente; entonces hace volar su aparato en estrechos círculos, intentando mantenerlo en la zona de ascendencia. Si la aguja está en la zona inferior significa que el aparato se ha salido de la corriente ascendente y el piloto debe buscar otra para mantener la cota de vuelo.

El velero de altas prestaciones se reconoce fácilmente por las alas, cuyas dimensiones son muy grandes en relación con el fuselaje. Estas alas son muy largas y delgadas, lo cual les confiere una gran sensibilidad a las corrientes de aire y una gran capacidad de sustentación. Como es muy difícil prever el lugar de aterrizaje, el piloto debe estar dispuesto a utilizar como pista cualquier espacio abierto. Al igual que los demás planeadores, el velero aterriza a una velocidad muy baja, entre 30 y



Pocos deseos han inspirado y frustrado tanto a la humanidad como el deseo de volar. La observación y el estudio de los pájaros permitió al hombre descubrir que el secreto del vuelo estaba en las alas arqueadas, en su forma aerodinámica. Tras miles de fracasos y decepciones, el planeador fue el primer aparato que permitió al hombre surcar los cielos. Los modernos planeadores de altas prestaciones poseen bellos diseños de líneas muy alargadas. La gran envergadura de las alas asegura una sustentación aerodinámica que permite planeos muy largos con velocidades de descenso muy bajas. En la construcción de los modernos veleros, la madera ha sido sustituida casi completamente por metal (aleaciones de aluminio de gran resistencia, como el ERGAL), aceros de alta resistencia, polispán, fibras de vidrio, de carbono, resinas, poliésteres y epoxídicas. La posición del piloto es semitumbada debido al diseño de la cabina con mínima resistencia frontal; la sección del fuselaje es muy reducida en su parte posterior con objeto de reducir el peso; →

la deriva horizontal está en el extremo del timón de dirección para poder actuar fuera de la estela del ala. La rueda del tren principal es retráctil, y la de cola es pequeña y está carenada. Los minúsculos patines de las extremidades alares tienen la función de disminuir las pérdidas por turbulencia. Los mandos de todas las superficies de control son de tubos de aleación de aluminio. Las superficies externas del aparato y, sobre todo, del ala se pulen como un espejo para disminuir el rozamiento con el aire. La rigidez de las estructuras se calcula para resistir a los esfuerzos que pueden aparecer en vuelo a velocidades de poco más de 200 km/h. Hay planeadores monoplazas de tamaños y formas diferentes. Los planeadores de dos plazas se suelen emplear para vuelos de instrucción, para enseñar a los futuros pilotos cómo deben accionar los mandos o hacer un aterrizaje correcto.

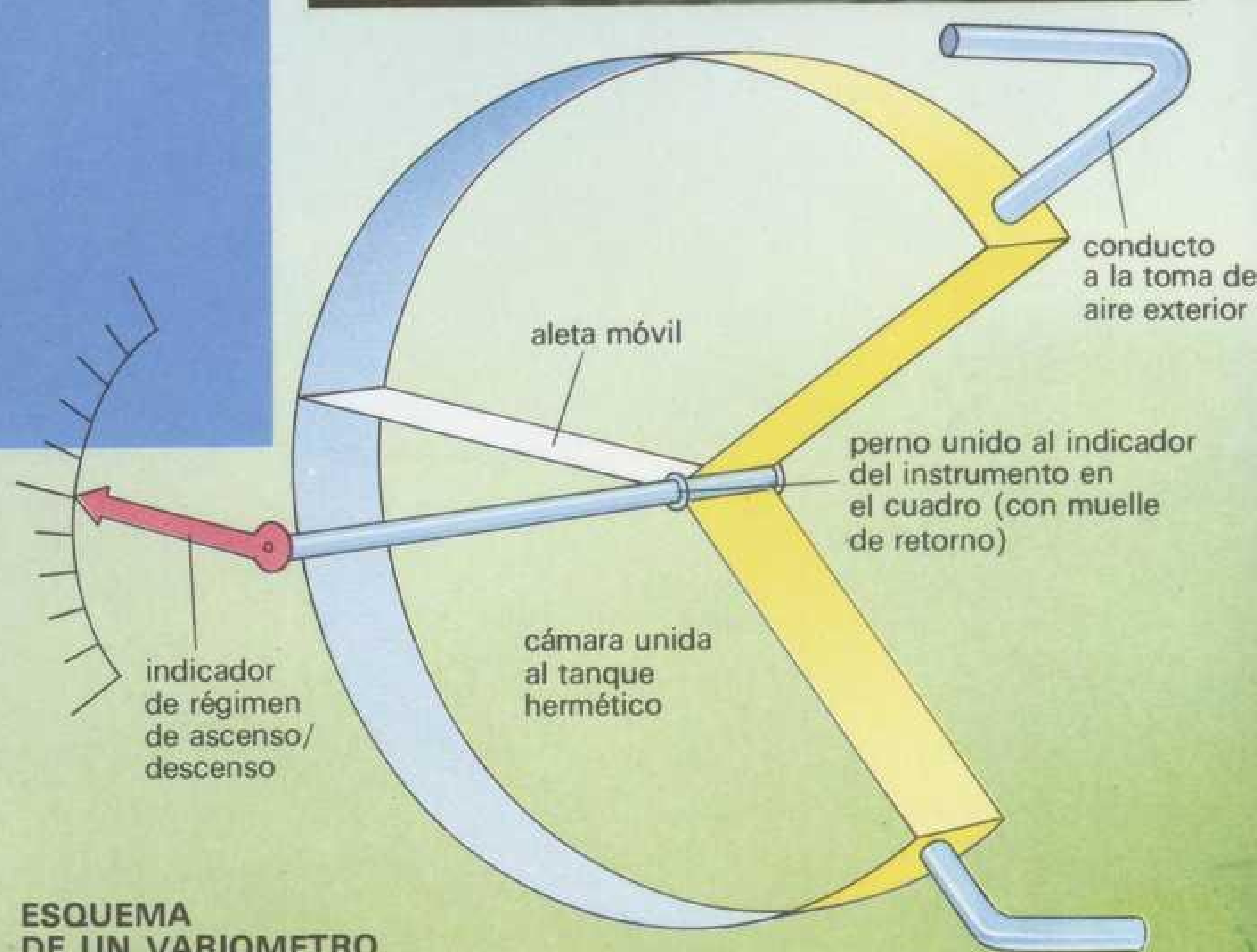


USA-1902
Uno de los primeros vuelos de los hermanos Wright









ESQUEMA DE UN VARIOMETRO

Arriba, remolcador de un velero; abajo, un velero de altas prestaciones volando sobre una zona montañosa donde las corrientes de aire, obligadas a subir por la orografía del terreno, le permiten alcanzar gran altura. Arriba, el cuadro de mandos de un velero con los instrumentos esenciales. El instrumento más importante es el variómetro. El modelo más tradicional de variómetro funciona como se ilustra en el esquema: una cámara cilíndrica está dividida en dos partes por una pieza que gira alrededor del perno central sin cerrar herméticamente. La parte inferior de la cámara está en comunicación con un tanque lleno de aire y con cierre hermético. La parte superior comunica con el exterior. Si el avión sube, la presión en la cámara superior disminuye, el aire de la cámara inferior se dilata y empuja hacia arriba el separador; de esta forma el índice gira marcando la velocidad de subida. Si ahora el avión permanece a la misma altura, el muelle en espiral intenta devolver el índice a la posición horizontal; la sobrepresión de la cámara inferior se compensa a través del contorno del separador y la aguja vuelve a cero. En el caso de descenso ocurre lo contrario. A la derecha, las áreas que el planeador debe sobrevolar para encontrar las corrientes térmicas. Donde éstas son muy intensas, suelen ser coronadas por un cúmulo que señala con precisión al piloto dónde debe iniciar la espiral para ganar altura.

50 km/h, pero para una mayor seguridad, en el caso de que el aterrizaje deba realizarse sobre un espacio muy reducido, el piloto puede utilizar los "aerofrenos", unos dispositivos situados en las alas que interrumpen el flujo homogéneo de aire sobre las mismas. Con los aerofrenos fuera, el planeador pierde sustentación y se adhiere al suelo una vez que toma contacto con éste. El rozamiento con el suelo lo detiene en muy poco espacio.

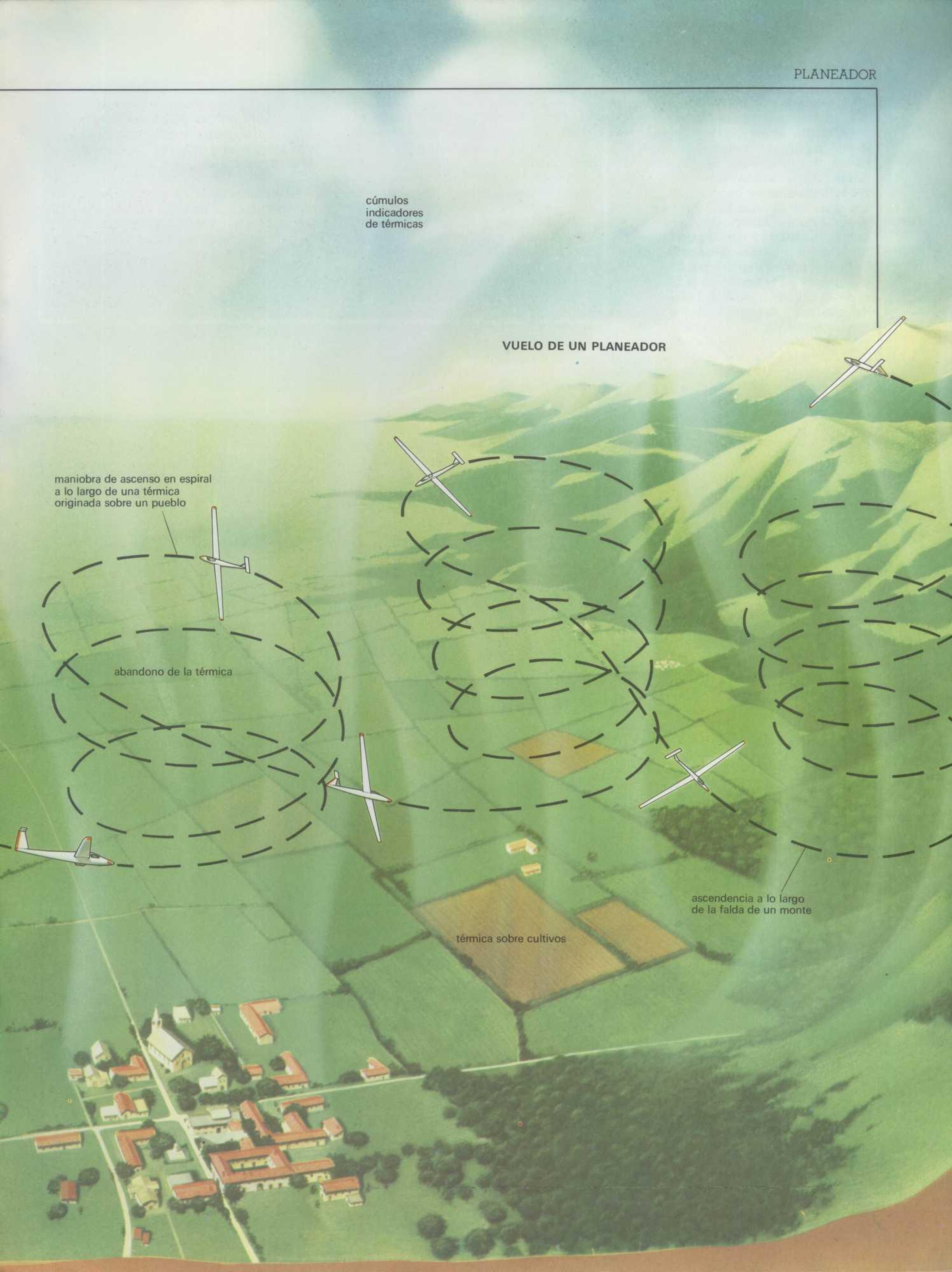
Algunos planeadores disponen, además, de un paracaídas de cola que actúa como freno. Los veleros de competición suelen ir equipados con sistemas de oxígeno y radio además de que transportan un lastre de agua, en el interior de las alas, que se puede lanzar para aumentar la velocidad y conseguir el mejor ángulo de planeo.

Los planeadores pueden ser lanzados mediante dos procedimientos distintos. El más simple, utilizado para los primeros aparatos de prueba, se basa en el arrastre mediante un cable de acero que se va enrollando en un cilindro movido por un motor; de ese modo el planeador es elevado de forma similar a como lo hace una cometa.

El otro procedimiento consiste en remolcar el planeador con un avión hasta alcanzar la altura deseada (de 400 a 1.000 metros generalmente). Después se suelta el planeador mediante un procedimiento de desenganche que, para mayor seguridad, puede accionar tanto el piloto del velero como el del avión remolcador; este tipo de lanzamiento se utiliza en las competiciones y para vuelos a gran distancia.

Una vez en el aire, el planeador es capaz de alcanzar grandes alturas siguiendo las corrientes térmicas, mantenerse en ellas volando en círculo, o abandonarlas hasta encontrar otras y de esta forma recorrer decenas e incluso cientos de kilómetros. El regreso a la base puede realizarse repitiendo a la inversa las mismas maniobras.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Aeromodelismo; Vuelo, mecanismos de control**


cúmulos
indicadores
de térmicas
VUELO DE UN PLANEADOR
maniobra de ascenso en espiral
a lo largo de una térmica
originada sobre un pueblo
abandono de la térmica
ascendencia a lo largo
de la falda de un monte
térmica sobre cultivos

Planetario

Se entiende por *planetario* ese singular aparato que muestra la posición y el movimiento de los cuerpos celestes mediante la proyección de sus imágenes sobre la cara interna de una cúpula hemisférica. En la actualidad, sin embargo, el uso de este término se ha extendido, de forma que con el nombre de planetario se designa todo el edificio donde éste se encuentra instalado y donde pueden ser admiradas sus espectaculares proyecciones.

El *proyector* se encuentra situado bajo la cúpula y en el centro de la base. Consta de un cilindro transversal con dos gruesas esferas en sus extremidades, llamadas *esferas estelares*, donde se hallan los proyectores móviles, accionados mediante motores, y los sistemas eléctricos de luz. Una de las esferas proyecta las imágenes de las estrellas observables desde el hemisferio septentrional, mientras que la otra hace otro tanto con las del hemisferio meridional. Los proyectores del Sol, de la Luna y de los planetas se encuentran en la parte central del elemento cilíndrico, que soporta las dos esferas estelares. La superficie del aparato está ideada de forma que permite la adaptación de dispositivos suplementarios, como los encargados de representar las estrellas fijas, es decir, estrellas lejanas que aparecen como puntos pequeños y luminosos. Estos dispositivos constan de varios proyectores acoplados bajo finas placas de cromo perforadas, a través de las cuales se filtra la luz. También pueden añadirse proyectores especiales para mostrar satélites artificiales, meteoritos y trayectorias de cometas. En conjunto, un gran planetario consta de casi 29.000 elementos mecánicos y más de 150 proyectores de luz, capaces de representar, simultáneamente, más de cien imágenes distintas en movimiento, de entre un total de 9.000 posibles cuerpos celestes.

Rotación Mostrar las imágenes de las estrellas no es suficiente: es necesario dotarlas de movimiento, de forma que se evidencie la rotación de la Tierra y, en consecuencia, la variación de las posiciones relativas de los astros. Esto se consigue mediante un movimiento combinado del planetario en torno a sus tres ejes. El eje vertical (o polar) corresponde al eje de rotación terrestre. El giro alrededor de este eje simula la *rotación* diaria de la Tierra, es decir, reproduce fielmente la salida y la puesta del Sol, de la Luna y de las estrellas, tal y como se observan desde nuestro planeta. El eje horizontal (eclíptico) es perpendicular al plano de la órbita terrestre y su inclinación con respecto a la vertical es de 23° 5'. En torno a él tiene lugar la rotación de los proyectores de los planetas y de las estrellas fijas, lo que permite simular el efecto de la *traslación* anual de la Tierra alrededor del Sol. Comunicando un determinado movimiento de giro a las dos esferas estelares, se pueden plasmar los cambios debidos a la variación anual de la dirección del eje de rotación terrestre (*movimiento de precesión*).

Los diversos proyectores instalados en el interior del aparato nos muestran el aspecto del cielo desde diversas latitudes y para distintas orientaciones del eje polar. Este movimiento de rotación permite observar cómo varía el cielo durante un hipotético viaje a lo largo de un meridiano.

Posibilidades Mediante el movimiento en torno a sus tres ejes, un planetario puede mostrar un elevado número de objetos de gran interés dentro del campo de la astronomía. Además de reproducir los más esenciales movimientos propios de la Tierra, puede acelerarlos proporcionalmente; así, la rotación diaria puede realizarse en 30 segundos, la revolución anual alrededor del Sol en menos de un minuto y un ciclo precesional completo (casi 26.000 años) en un solo minuto.

Otros dispositivos adaptables al instrumento nos permiten contemplar el aspecto de las constelaciones desde posiciones alejadas de la Tierra. El sistema planetario, por ejemplo, puede ser observado desde una distancia equivalente a la que existe entre la Tierra y Saturno, y con la perspectiva que nos proporciona la perpendicularidad al plano de la órbita terrestre. También pueden representarse los resultados de complejos cálculos astronómicos sobre las posiciones celestes, tanto en los siglos pasados, como en los venideros, y las formas bajo las cuales aparecían las constelaciones ante distintos pueblos y en diferentes épocas. Dispositivos análogos muestran las trayectorias de los cometas, eclipses lunares y solares y otros fenómenos celestes.

El operador del planetario, situado frente a una pequeña mesa de control, regula la velocidad y la dirección de rotación en torno a los ejes, así como la intensidad de las luces. Por lo general, y con la ayuda de una instalación de sonido estereofónico, una conferencia acompaña las proyecciones, que son facilitadas con la ayuda de efectos ópticos, como flechas luminosas móviles.

En la actualidad, muchos planetarios están dotados de computadoras, con el objetivo de programar y conseguir cada vez más complejas y vistosas combinaciones de imágenes.

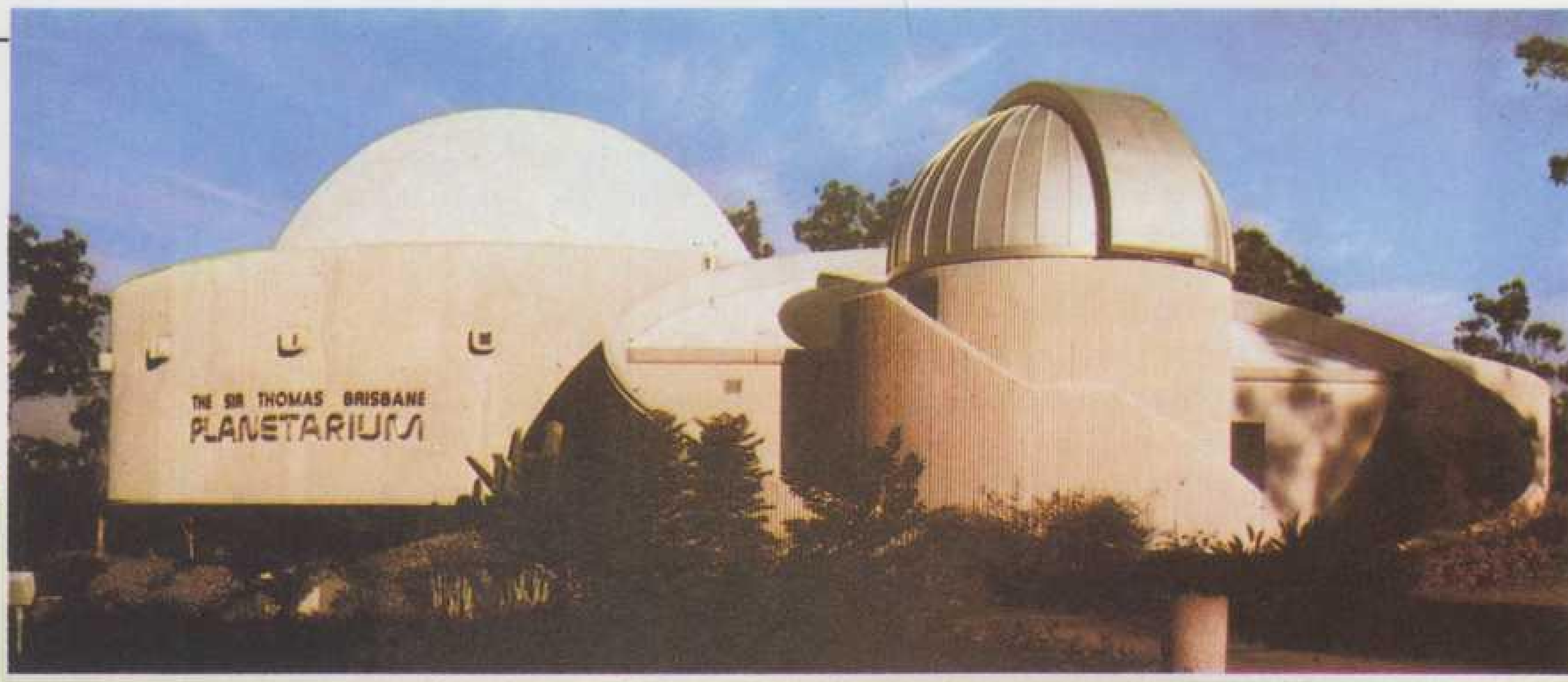
Su localización El primer planetario moderno fue instalado en 1923 en Munich (Alemania) por Walther Baversfeld. Inmediatamente alcanzó una gran popularidad tanto entre los estudiosos como entre el público en general. Desde aquella fecha, más de 100 planetarios han sido construidos en varias ciudades de Europa, América y Asia.

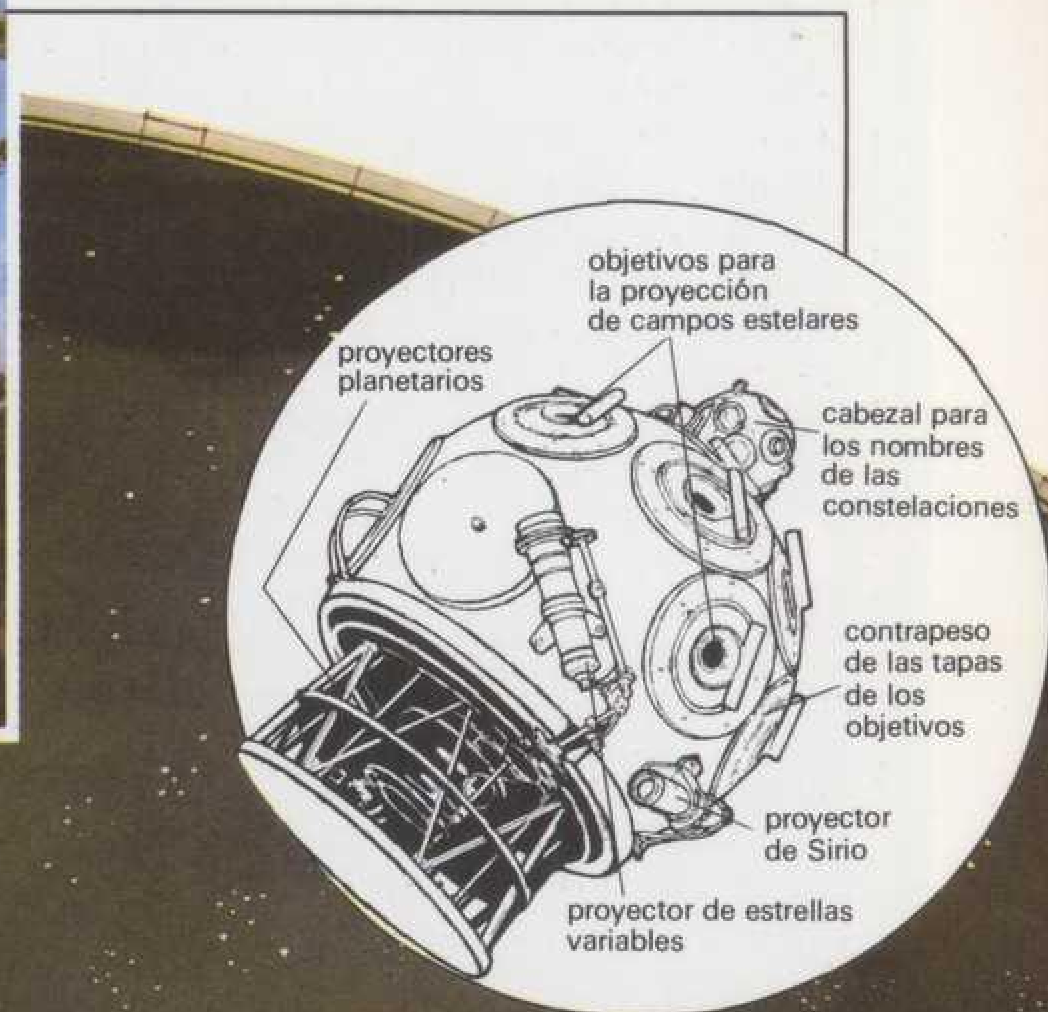
Véase **Astronomía; Astronomía para aficionados; Planetas; Sistema solar**



Muchas ciudades disponen actualmente de un planetario; el de la fotografía de la derecha es uno de los más modernos y se encuentra en Brisbane (Australia) Cerca de las cúpulas destinadas a la proyección de los fenómenos celestes, podemos observar otra con un pequeño telescopio en su interior.

Sala de un planetario durante una proyección. Aunque el nombre de planetario es propio del instrumento, con él se suele designar también al edificio que lo alberga. En la fotografía observamos un planetario en funcionamiento, mientras proyecta las imágenes de las estrellas sobre una hipotética bóveda celeste, figurada por la cara inferior de una cúpula hemisférica. A lo largo de toda la parte baja de la cúpula figura la línea del horizonte que, normalmente, suele reproducir lo que se vería en los exteriores de la ciudad donde el planetario se halla situado. Los expectadores pueden acomodarse en butacas giratorias, lo que les permite mirar en todas las direcciones y seguir sin dificultad el movimiento, acelerado por el aparato, de los astros.


THE SIR THOMAS BRISBANE
PLANETARIUM


objetivos para
la proyección
de campos estelares
proyectores
planetarios
cabezal para
los nombres
de las
constelaciones
contrapeso
de las tapas
de los
objetivos
proyector
de Sirio
proyector de estrellas
variables

Planetas

Ya los primeros observadores se dieron cuenta de que la posición de algunos astros variaba lentamente respecto al fondo de estrellas, que permanece fijo y que constituye la bóveda celeste. A esos cuerpos celestes independientes se les llamó planetas, que significa "errantes". Realmente, los planetas reconocibles a simple vista son cinco, pero en los primeros tratados de la Astronomía se habla de siete planetas, entre los que se incluye el Sol y la Luna que, según se creía por entonces, giraban alrededor de la Tierra; estos astros recorrían, aparentemente, órbitas circulares con diferentes velocidades y sus distancias a la Tierra iban aumentando en el orden siguiente: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno.

Pero con esta teoría (llamada geocéntrica, pues en ella se consideraba a la Tierra como el centro del Universo) quedaban muchas cosas sin explicar, entre ellas los cambios de las distancias de estos astros respecto a la Tierra y los caprichosos movimientos o pasos de Venus y Mercurio (los dos planetas interiores) de un lado a otro del Sol.

Habría que esperar a principios del siglo XVI para que Copérnico (reconocido actualmente como el fundador de la Astronomía moderna, formulase las hipótesis de un nuevo y, por entonces, revolucionario sistema heliocéntrico), que habría de cambiar el viejo concepto de la mecánica celeste y del Universo. En efecto, Copérnico sentó las bases del movimiento de los astros al afirmar que el Sol ocupaba una posición fija en el centro del Sistema, mientras que el resto de los planetas, incluida la Tierra, giraban a su alrededor. La Luna, por su parte, pasaba a ser un satélite de la Tierra y el número de planetas conocidos quedaba fijado en seis.

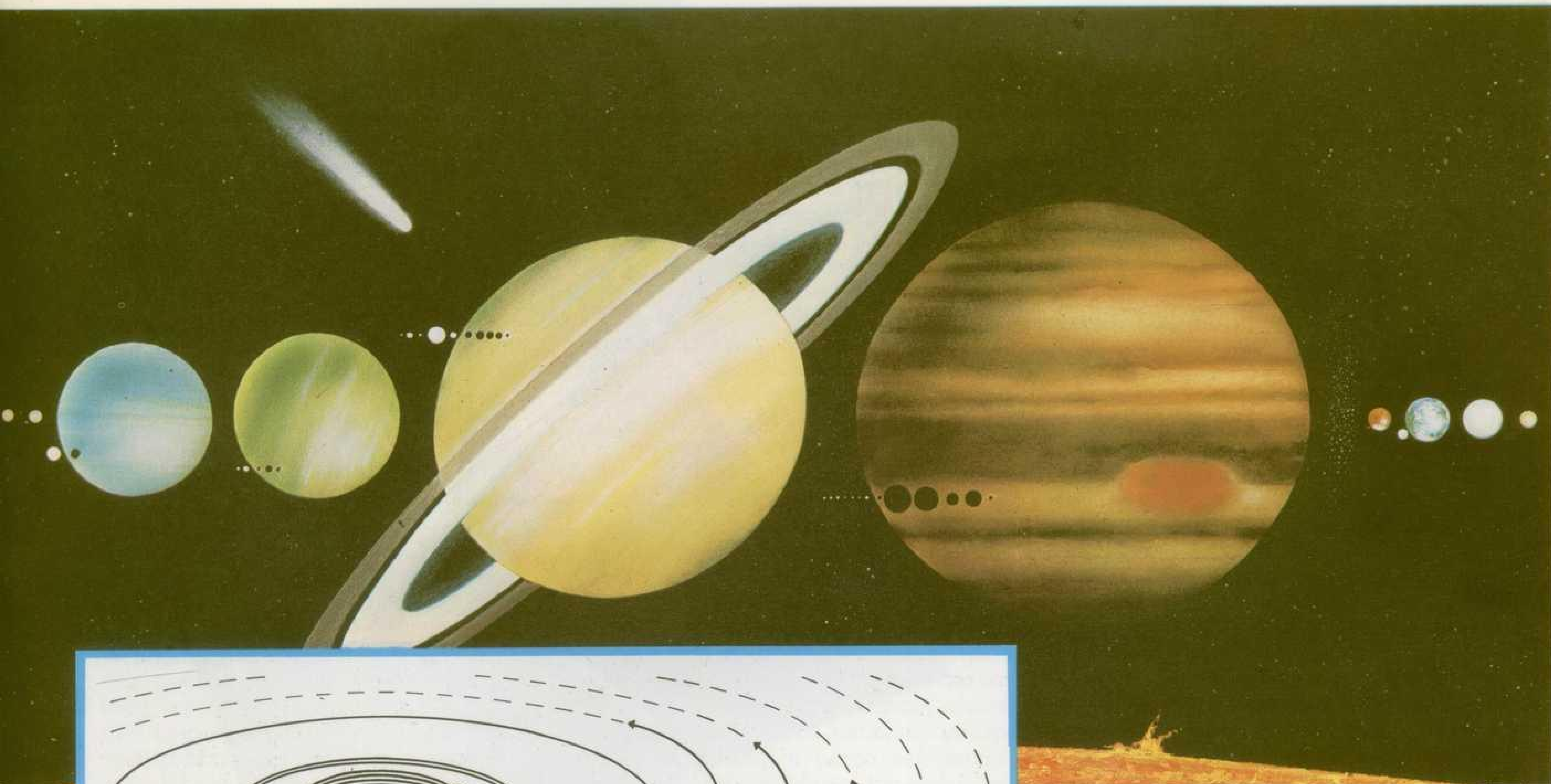
Con las tesis de Copérnico se corrigieron los legendarios errores de la antigua astronomía, y cuando Kepler primero (1605), y Newton después (1687), descubrieron las leyes del movimiento planetario y de la gravitación universal, quedó la antigua ciencia sentada sobre bases tan inmutables y verdaderas, que permitieron a Leverrier, en 1846, y a Lowell, en 1930, predecir las posiciones de los desconocidos Neptuno y Plutón, respectivamente. El séptimo planeta, Urano, ya había sido descubierto accidentalmente por Herschel, en 1781. Desde 1971 se discute la posible existencia de un décimo planeta transplutónico, si bien por el momento no existen pruebas definitivas que lo confirmen.

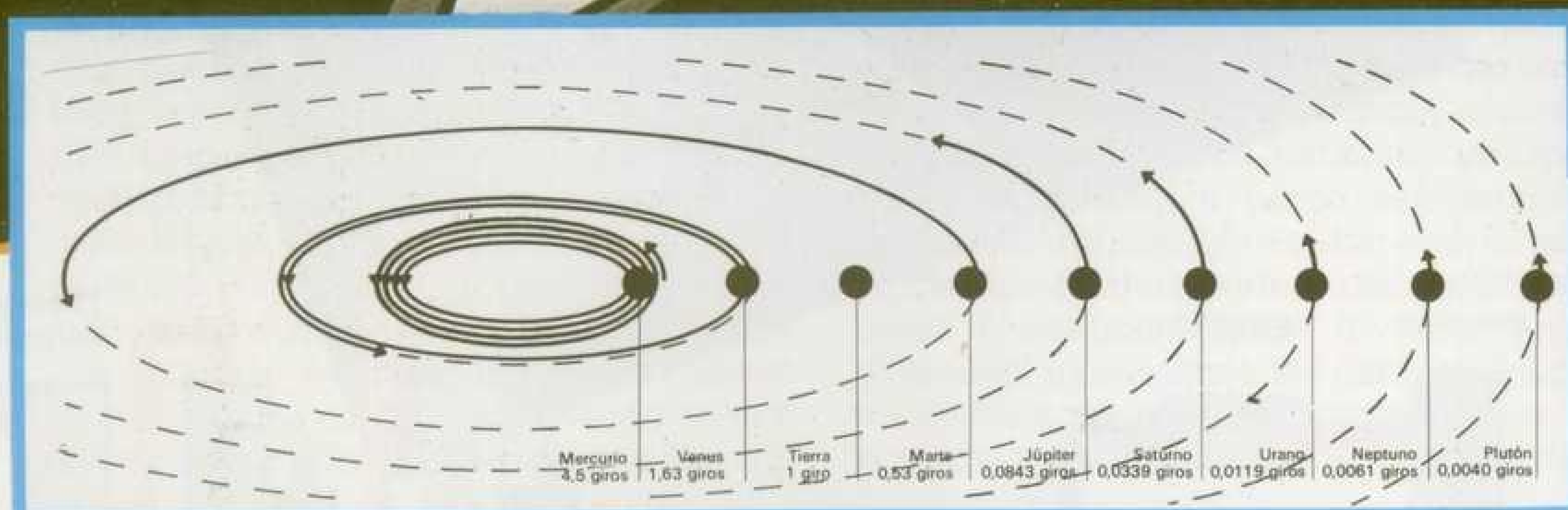
La existencia de otros sistemas planetarios, similares al nuestro y asociados a otras estrellas de nuestra galaxia, se considera estadísticamente muy probable, si bien hasta el momento no se ha podido individualizar ninguno.

El aspecto de los planetas Los planetas son cuerpos celestes opacos que brillan por la luz reflejada de la estrella (en nuestro caso, el Sol) alrededor de la cual giran, describiendo sus órbitas con un movimiento periódico propio. Por lo general, y dada su proximidad a la Tierra, los planetas —exceptuados los más lejanos— pueden observarse a simple vista, ya que resultan más brillantes que la mayor parte de las estrellas; además, se les distingue fácilmente por no estar sujetos al centelleo característico de aquéllas. Los nueve planetas que componen nuestro Sistema solar presentan gran variedad de dimensiones y condiciones superficiales. Mientras que Mercurio, por ejemplo, es un planeta pequeño, rocoso, caliente por su proximidad al Sol, y sin atmósfera, Júpiter es enorme, frío y con una atmósfera gaseosa extremadamente rarificada.

Cada planeta, por tanto, presenta unas características peculiares que dependen de su posición con respecto al Sol, su tamaño, constitución química y origen. Los planetas pueden clasificarse dentro de

	MERCURIO ☿	VENUS ♀	TIERRA ⊕	MARTE ♂	JUPITER ♃	SATURNO ♄
Distancia máxima al Sol	69,7 millones de km	109 millones de km	152,1 millones de km	380 millones de km	965 millones de km	1.650 millones de km
Distancia mínima al Sol	45,9 millones de km	107,4 millones de km	147,1 millones de km	76 millones de km	590 millones de km	1.200 millones de km
Distancia media al Sol	57,9 millones de km	108,2 millones de km	149,6 millones de km	228 millones de km	778,7 millones de km	1.427,7 millones de km
Diámetro ecuatorial	4.800 km	12.104 km	12.756 km	6.787 km	142.800 km	120.000 km
Satélites conocidos	0	0	1	2	14	17
Gravedad en la superficie (Tierra = 1)	0,37	0,88	1	0,38	2,64	1,15
Periodo de revolución	88 días	224,7 días	365,26 días	687 días	11,86 años	29,46 años
Periodo de rotación	59 días	−243 días	23h 56′ 4″	24h 37′ 23″	9h 50′ 30″	11h 14″
Inclinación de la órbita respecto a la eclíptica	7°	3,4°	0°	1,9°	1,3°	2,5°
Atmósfera (componentes principales)	ninguno	dióxido de carbono	nitrógeno, oxígeno	dióxido de carbono, nitrógeno	hidrógeno, helio	hidrógeno, helio
Temperatura media en la superficie (S = suelo) (N = nubes)	350 °C (S) día, −170 °C (S) noche	33 °C (N); 480 °C (S)	22 °C (S)	−23 °C	−150 °C (N)	−180 °C (N)
Presión atmosférica en la superficie	10^{-9} milibares	90.000 milibares	1.000 milibares	6 milibares	?	?
Masa (Tierra = 1)	0,055	0,88	1	0,108	317,9	95,2
Volumen (Tierra = 1)	0,06	0,88	1	0,15	1.316	755
Densidad (agua = 1)	5,4	5,2	5,5	3° 05′	1,3	0,7
Inclinación del eje	28°	3°	23° 27′	23° 59′	3° 05′	26° 44′
Velocidad orbital	47,9 km/s	35 km/s	29,8 km/s	24,1 km/s	13,1 km/s	9,6 km/s
Diámetro aparente medio del Sol, visto desde el Planeta	1° 22′ 40″	44′ 15″	31′ 59″	21′	6′ 09″	3′ 22″





URANO ♅	NEPTUNO ♆	PLUTON ♇
Distancia máxima al Sol 3.004 millones de km	Distancia máxima al Sol 4.537 millones de km	Distancia máxima al Sol 7.375 millones de km
Distancia mínima al Sol 2.735 millones de km	Distancia mínima al Sol 4.456 millones de km	Distancia mínima al Sol 4.425 millones de km
Distancia media al Sol 2.869 millones de km	Distancia media al Sol 4.496,6 millones de km	Distancia media al Sol 5.900 millones de km
Diámetro ecuatorial 51.800 km	Diámetro ecuatorial 49.500 km	Diámetro ecuatorial 6.000 km (?)
Satélites conocidos 5	Satélites conocidos 2	Satélites conocidos 1
Gravedad en la superficie (Tierra = 1) 1,17	Gravedad en la superficie (Tierra = 1) 1,18	Gravedad en la superficie (Tierra = 1) ?
Período de revolución 84,01 años	Período de revolución 164,8 años	Período de revolución 247,7 años
Período de rotación 11 horas (rotación retrógrada)	Período de rotación 16 horas	Período de rotación 6 días, 9 horas
Inclinación de la órbita respecto a la eclíptica 0,8°	Inclinación de la órbita respecto a la eclíptica 1,8°	Inclinación de la órbita respecto a la eclíptica 17,2°
Atmósfera (componentes principales) hidrógeno, helio, metano	Atmósfera (componentes principales) hidrógeno, helio, metano	Atmósfera (componentes principales) ninguno detectado
Temperatura media en la superficie (S = suelo) (N = nubes) −210 °C (N)	Temperatura media en la superficie (S = suelo) (N = nubes) −220 °C (N)	Temperatura media en la superficie (S = suelo) (N = nubes) −230 °C (?)
Presión atmosférica en la superficie ?	Presión atmosférica en la superficie ?	Presión atmosférica en la superficie ?
Masa (Tierra = 1) 14,6	Masa (Tierra = 1) 17,2	Masa (Tierra = 1) 0,1 (?)
Volumen (Tierra = 1) 67	Volumen (Tierra = 1) 57	Volumen (Tierra = 1) 0,1 (?)
Densidad (agua = 1) 1,2	Densidad (agua = 1) 1,7	Densidad (agua = 1) ?
Inclinación del eje 82° 5'	Inclinación del eje 28° 48'	Inclinación del eje ?
Velocidad orbital 6,8 km/s	Velocidad orbital 5,4 km/s	Velocidad orbital 4,7 km/s
Diámetro aparente medio del Sol, visto desde el Planeta 1' 41"	Diámetro aparente medio del Sol, visto desde el Planeta 1' 04"	Diámetro aparente medio del Sol, visto desde el Planeta 49"

El diagrama de la parte superior de esta página muestra las dimensiones relativas de los planetas y satélites mayores de nuestro Sistema solar. Nótese cómo algunos satélites de otros planetas superan las dimensiones del planeta Mercurio. En la parte inferior del diagrama, el disco gigante del Sol. Abajo, el recorrido que cada planeta efectúa a lo largo de su órbita en torno al astro rey y durante un año terrestre, medido en unidades angulares de medida. En ambas páginas, tabla con las características de los planetas. Algunos de estos datos son conocidos desde antiguo, pero la mayoría son resultado de las medidas realizadas por los instrumentos de diversas sondas planetarias.

dos grandes grupos naturales: los "planetas terrestres" (Mercurio, Venus, Tierra, Marte y Plutón), todos ellos sólidos, con un tamaño relativamente pequeño en comparación con los demás planetas y, salvo la Tierra y Venus, carentes casi de atmósfera, y los "planetas mayores" (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno), de enormes dimensiones, baja densidad y atmósfera gaseosa muy rarificada.

Movimientos de los planetas Los planetas se desplazan a través del espacio —de acuerdo con las leyes de Kepler y la ley de gravitación universal de Newton— describiendo órbitas elípticas alrededor del Sol. Cada una de estas órbitas viene descrita, de forma completa, por siete cifras (elementos de la órbita), cinco de las cuales hacen referencia a la forma y orientación de ésta, mientras que las dos restantes determinan la posición del planeta en un momento dado; es decir, cada órbita planetaria se caracteriza por unos parámetros determinados que permiten conocer la posición exacta del planeta en cualquier época pasada y futura. Estos siete elementos son: el semieje mayor de la órbita, su excentricidad, la inclinación con respecto al plano de la eclíptica, la longitud de su perihelio, la época de paso por el perihelio, la longitud del nodo ascendente (punto en que la órbita del planeta corta al plano de la eclíptica), y el período sinódico o tiempo empleado por el planeta en describir una revolución completa alrededor del Sol. Cada planeta, además, experimenta un movimiento de rotación en torno a su eje, de forma que en cada planeta la duración del día tendrá un valor distinto de acuerdo con la velocidad con que aquél tenga lugar: así, mientras en Júpiter la duración del día equivale a 9h 55' terrestres, en Mercurio es de 88 días terrestres.

Véase **Júpiter; Marte; Mercurio; Neptuno; Plutón; Saturno; Sistema solar; Tierra; Venus; Urano**

Planta química

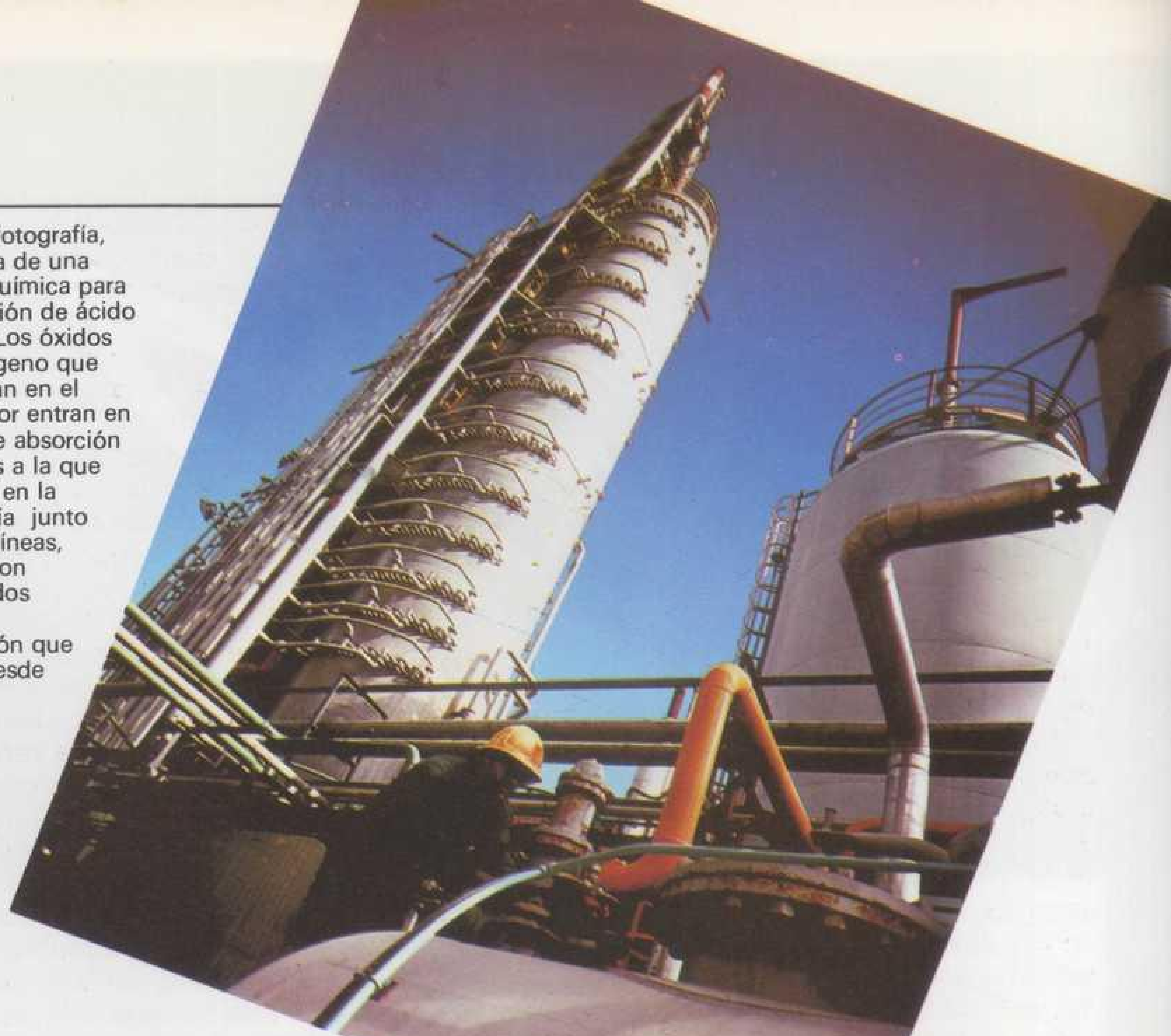
La industria química constituye uno de los pilares fundamentales de la actividad económica de nuestros días. Su estrecha relación con los avances técnicos hace que sea una industria de altas tasas de desarrollo, expansión continua y altos beneficios, lo que justifica la existencia de numerosos equipos de investigadores cuyos esfuerzos se orientan tanto a reducir costes mediante nuevos procedimientos para obtener productos ya conocidos como hacia el descubrimiento de productos nuevos.

Las materias primas básicas de la química orgánica son la madera, el carbón, el petróleo, el gas natural y el algodón; mientras que las piritas (que suministran hierro, azufre y cobre), el aire (del que se obtiene el neón) y la sal gema (de la que se extrae el cloro) constituyen las materias primas fundamentales de la industria química inorgánica.

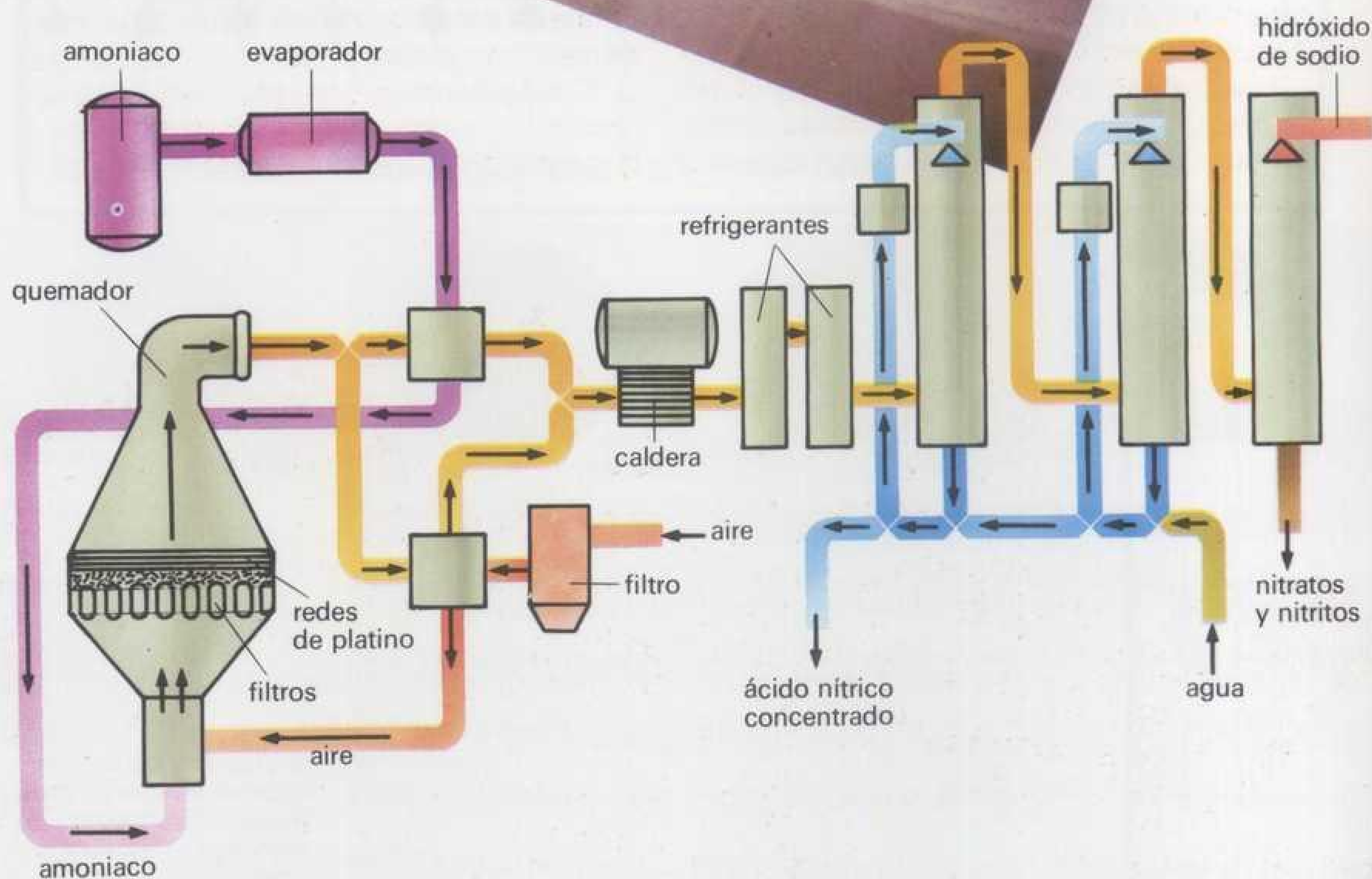
La sal constituye el punto de partida de la industria química moderna. El azufre, por su parte, representa la materia básica para la obtención de un producto tan fundamental como es el ácido sulfúrico, que es reconocido por su importancia como indicador del desarrollo económico de un país. El potasio, el fósforo y el nitrógeno constituyen, por otro lado, la base de la industria de los fertilizantes.

Generalmente, las plantas químicas se sitúan estratégicamente cerca de los yacimientos de materias primas, aunque en este sentido la construcción de oleoductos y de buques transportadores de metano y de minerales ha cambiado considerablemente los condicionamientos a la hora de elegir el lugar de instalación.

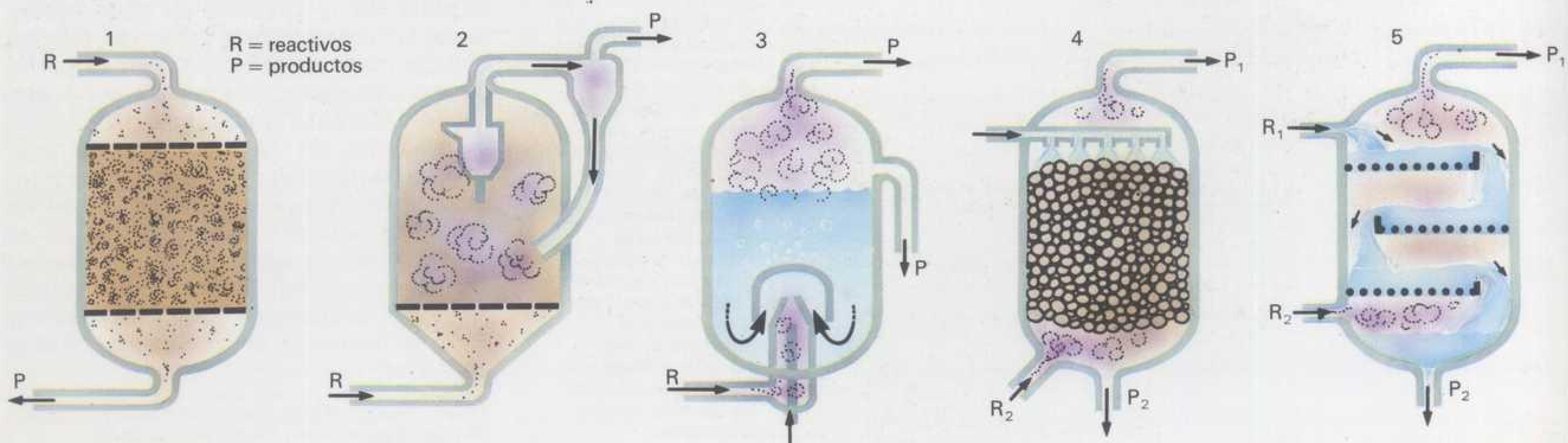
Las plantas químicas necesitan para su funcionamiento gran cantidad de energía, aire comprimido y agua para los procesos de refrigeración. A menudo se intenta crear las fuentes de energía a partir de los propios procesos químicos: por ejemplo,



Bajo la fotografía, esquema de una planta química para producción de ácido nítrico. Los óxidos de nitrógeno que se forman en el quemador entran en torres de absorción similares a la que aparece en la fotografía junto a estas líneas, donde son absorbidos en una disolución que gotea desde arriba.



Abajo, esquemas de varios modelos de reactores químicos: (1) reactor catalítico de lecho frío (los reactivos circulan entre los gránulos de catalizador apilados); (2) reactor catalítico de lecho fluido (las partículas de catalizador son mantenidas en suspensión por el flujo de los gases a la entrada); (3) reactor de eyector sumergido; (4) reactor provisto de una columna de absorción; (5) reactor provisto de una columna de platos perforados.



se utiliza el vapor resultante de la combustión de las piritas para producir energía. El creciente progreso tecnológico ha dado lugar a una disminución continua de la mano de obra y a su progresiva sustitución por máquinas cada vez más automatizadas, que a menudo requieren estar fabricadas con materiales especiales capaces de soportar altas temperaturas y presiones, así como la acción de productos corrosivos.

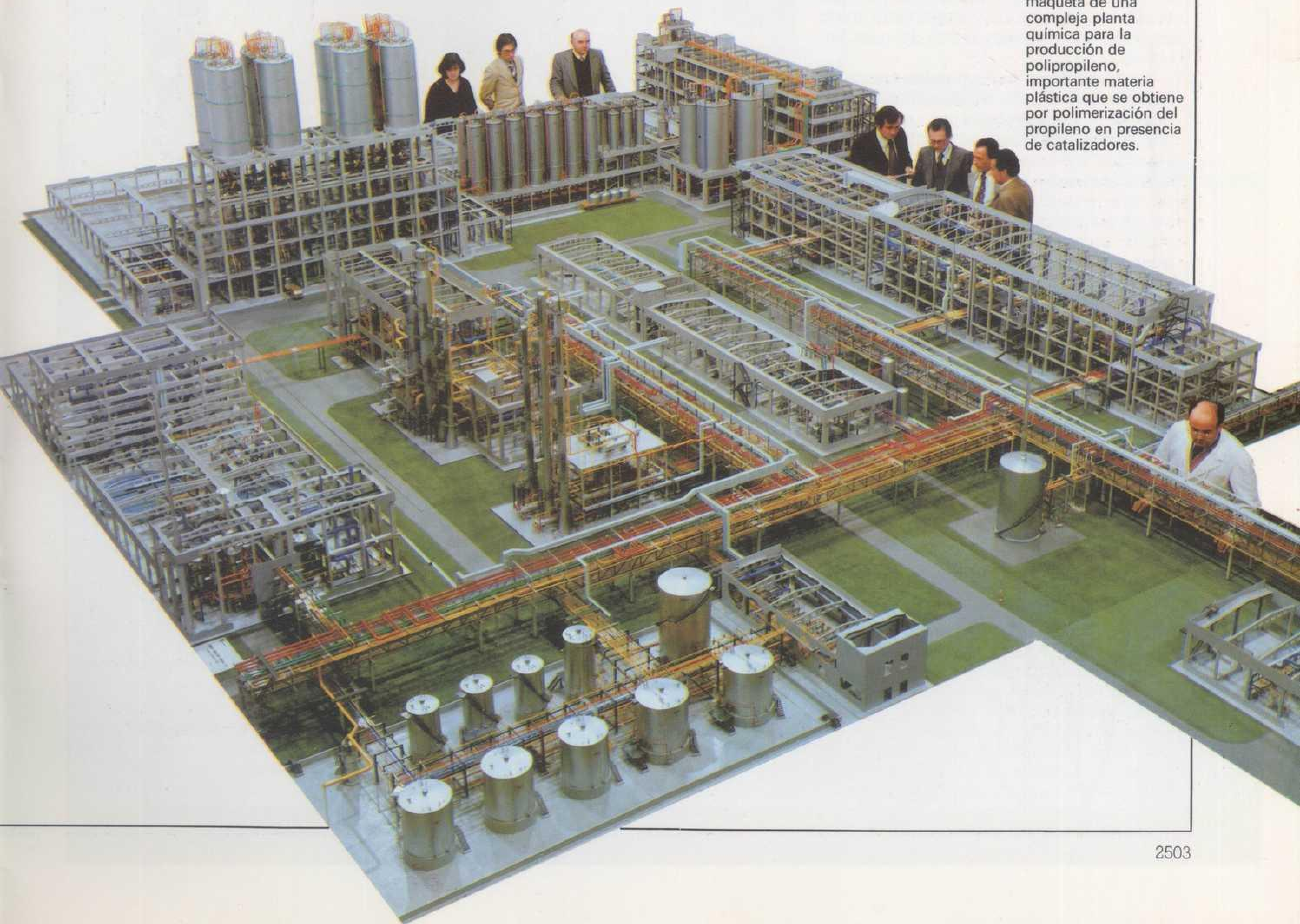
Ingeniería química La ingeniería química se ocupa de diseñar, construir y hacer funcionar a escala industrial un determinado tipo de fábrica: la planta química.

Después de que los investigadores consiguen, en el laboratorio, sustancias completamente nuevas con propiedades específicas, se procede a la construcción de las plantas-piloto. Se trata de instalaciones que son relativamente pequeñas, si bien funcionan sobre una escala mucho más amplia que la del laboratorio de investigación. En estas plantas se llevan a cabo las distintas fases de elaboración del nuevo producto, siempre bajo la supervisión de un equipo de ingenieros y químicos. Además de sus cometidos puramente técnicos, estos especialistas deben velar continuamente por conseguir una mayor eficacia y rentabilidad en el proceso, de forma que el producto final resulte, tanto en el costo como en la calidad, altamente competitivo. Al mismo tiempo, los encargados del *marketing* inician los estudios necesarios para encontrar las máximas posibilidades de mercado para el nuevo producto. Cuando los resultados obtenidos en la planta piloto y los estudios de mercado lo aconsejan, la empresa química comienza a proyectar la construcción de una planta más grande y costosa. En el desarrollo del diseño de una planta química y de su equipamiento es fundamental la intervención de ingenieros y químicos con conocimientos detallados de los procesos que en ella se van a desarrollar. En la búsqueda de un lugar apropiado para la localización de la planta se toman en consideración muchos factores: posibilidad de obtener suficientes reservas hídricas (la mayor parte de las plantas químicas necesitan grandes cantidades de agua ya sea para ser utilizada como disolvente o como refrigerante), tipo de energía de que se dispone, su coste, medios de transporte y principales accesos (carreteras, líneas de ferrocarril), distancias existentes a los centros de distribución y venta más importantes, etc. Si la planta produce desechos tóxicos o sustancias químicas nocivas y/o contaminantes, se debe tener en cuenta los métodos para su eliminación, control de los vertidos, alejamiento de poblaciones habitadas, etc. Todos estos problemas deben ser seriamente considerados antes de iniciar la construcción de la planta si se quiere que ésta llegue a tener un funcionamiento racional y sin contratiempos.

Si una planta utiliza grandes cantidades de una sustancia química determinada, por ejemplo ácido sulfúrico, cabe plantearse si éste debe producirse en la planta o si, por el contrario, debe adquirirse. Este mismo problema afecta a la mayor parte de las sustancias químicas que serán utilizadas y/o producidas.

Los materiales que se han de emplear, los tamaños de las instalaciones, la potencia, calor o refrigeración que es necesario aportar para que las reacciones se realicen de forma adecuada, los procesos físicos (evaporación, destilación, filtración, etc.) o químicos aplicables para la separación de los productos finales son algunos de los problemas de base que se le plantean a la ingeniería química a la hora de proyectar la realización de una nueva planta.

Véase **Química industrial**



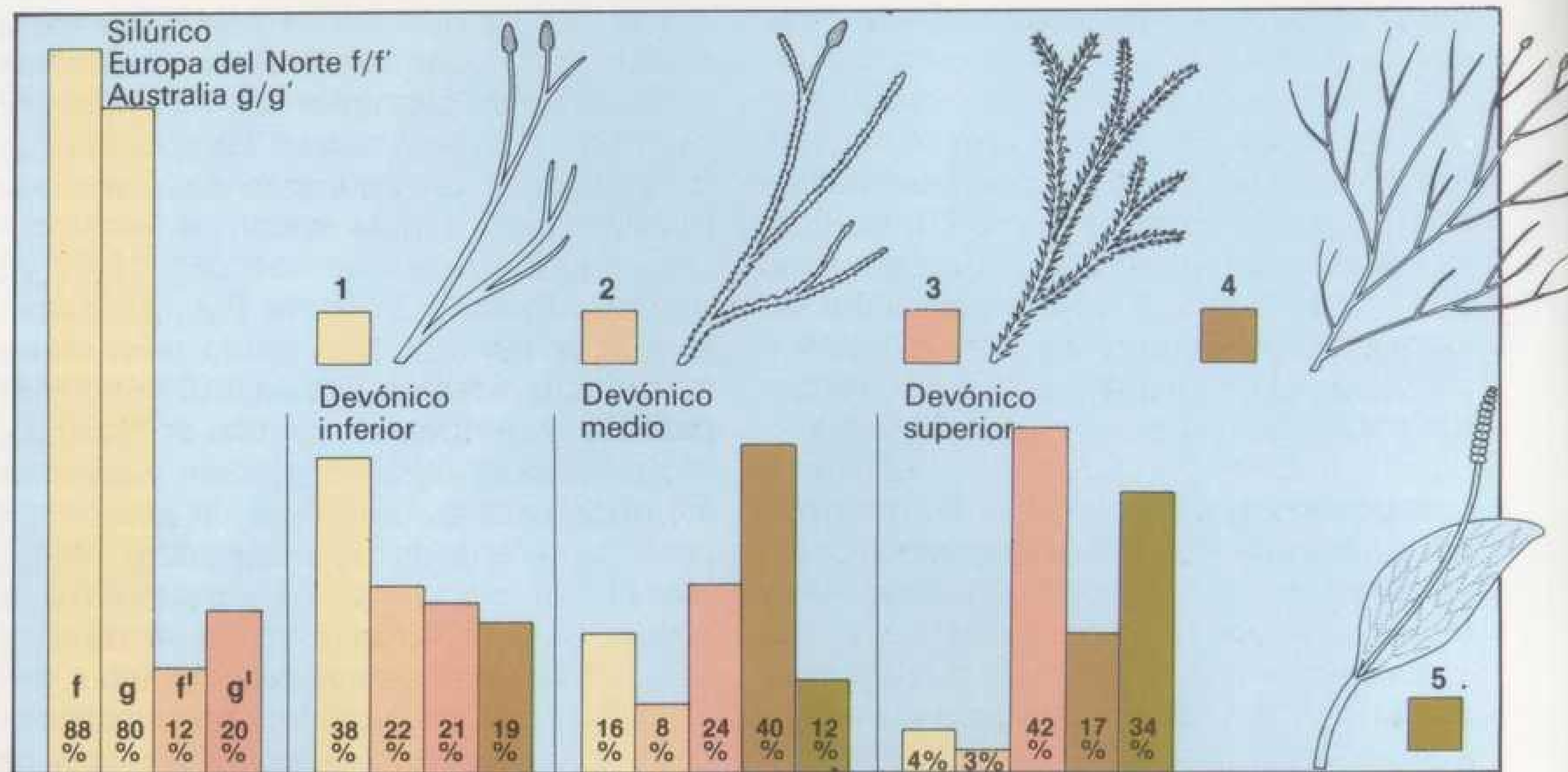
A la izquierda, maqueta de una compleja planta química para la producción de polipropileno, importante materia plástica que se obtiene por polimerización del propileno en presencia de catalizadores.

Plantas

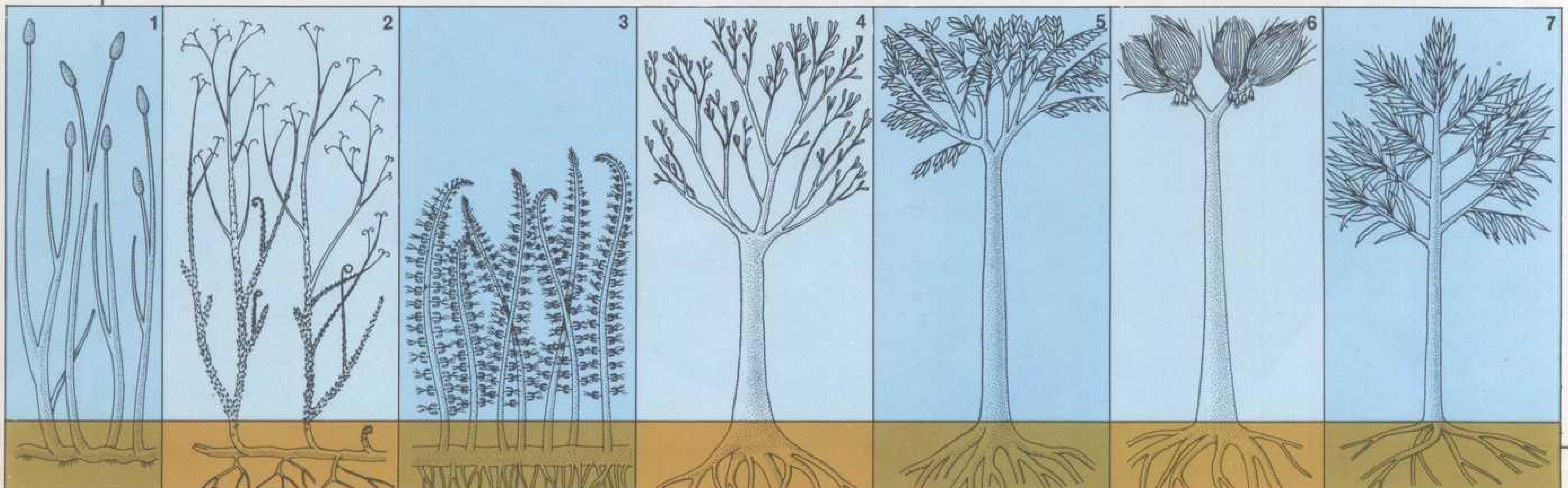
Todos los seres vivos dependen de las plantas para su supervivencia. Además de proporcionar el indispensable oxígeno a la atmósfera, las plantas constituyen la principal fuente de alimentos de la Tierra. También proporcionan una enorme variedad de materias primas indispensables para el hombre, como madera, fibras textiles, aceites, carbón, papel, especias, colorantes, etc. Todo ser vivo emplea la energía solar para sobrevivir, aunque sea de forma indirecta, como sucede con el ser humano y con los animales. En efecto, las plantas absorben luz solar, agua, gases, minerales y materia orgánica, y los transforman en las sustancias vitales indispensables para todos los habitantes de la Tierra. Por lo tanto, el hombre depende completamente de la vida de las plantas, aunque se trata a menudo de una dependencia recíproca, ya que la supervivencia de éstas también depende de los cuidados y de la protección del hombre.

Clasificación de las plantas La clasificación de todas las plantas que hay en la Naturaleza es una tarea ingente si se piensa que hasta el momento se han diferenciado ya, de forma detallada, más de 325.000 especies. A causa de las continuas ampliaciones, cambios y extinciones que sufren estas últimas, esta tarea probablemente no se completará nunca, pero en cualquier caso es muy importante tratar de poner cierto orden dentro del caos botánico.

Ya en tiempos de Aristóteles existía un sistema acabado de clasificación (taxonomía), pero fue superado por otro más racional propuesto por Carolus Linneus, un científico sueco del siglo XVIII. Linneo inventó el sistema binominal con el que todavía hoy se clasifican la flora y la fauna según las distintas especies, géneros, familias, órdenes, clases y *phylum*. Se siguen utilizando estos términos, pero a diferencia del método de clasificación original, que se basaba sobre todo en los caracteres morfológicos (relativos a la forma), la clasificación actual se basa en las relaciones entre los organismos. Aquí vamos a ocuparnos fundamentalmente de las plantas que forman la mayor parte de la vegetación terrestre, es decir, las Cormófitas, que se subdividen en Pteridófitas (Helechos) y Fanerógamas, que a su vez







Arriba, evolución de la hoja. La *Rhynia* del Silúrico realizaba la función foliar con sus tallos cilíndricos; el *Psilophyton*, contemporáneo de la *Rhynia*, tenía apéndices foliares embrionarios; en el Devónico superior hubo formas intermedias hasta llegar a las *Macrófilas* (5) En el centro, plantas fósiles del Devónico superior. Abajo, *Rhynia major* (1) del Devónico medio, con tallo subterráneo; *Asteroxylon elberfeldense* (2), con hojas; *Hyenia elegans* (3) del Devónico medio; *Pseudosporochnus Krejcii* (4), del Devónico superior; *Lepidodendron, Sigillaria* y *Cordaites* (5-6-7) del Carbonífero. En la página siguiente, clasificación de las plantas.

se subdividen en Angiospermas y Gimnospermas.

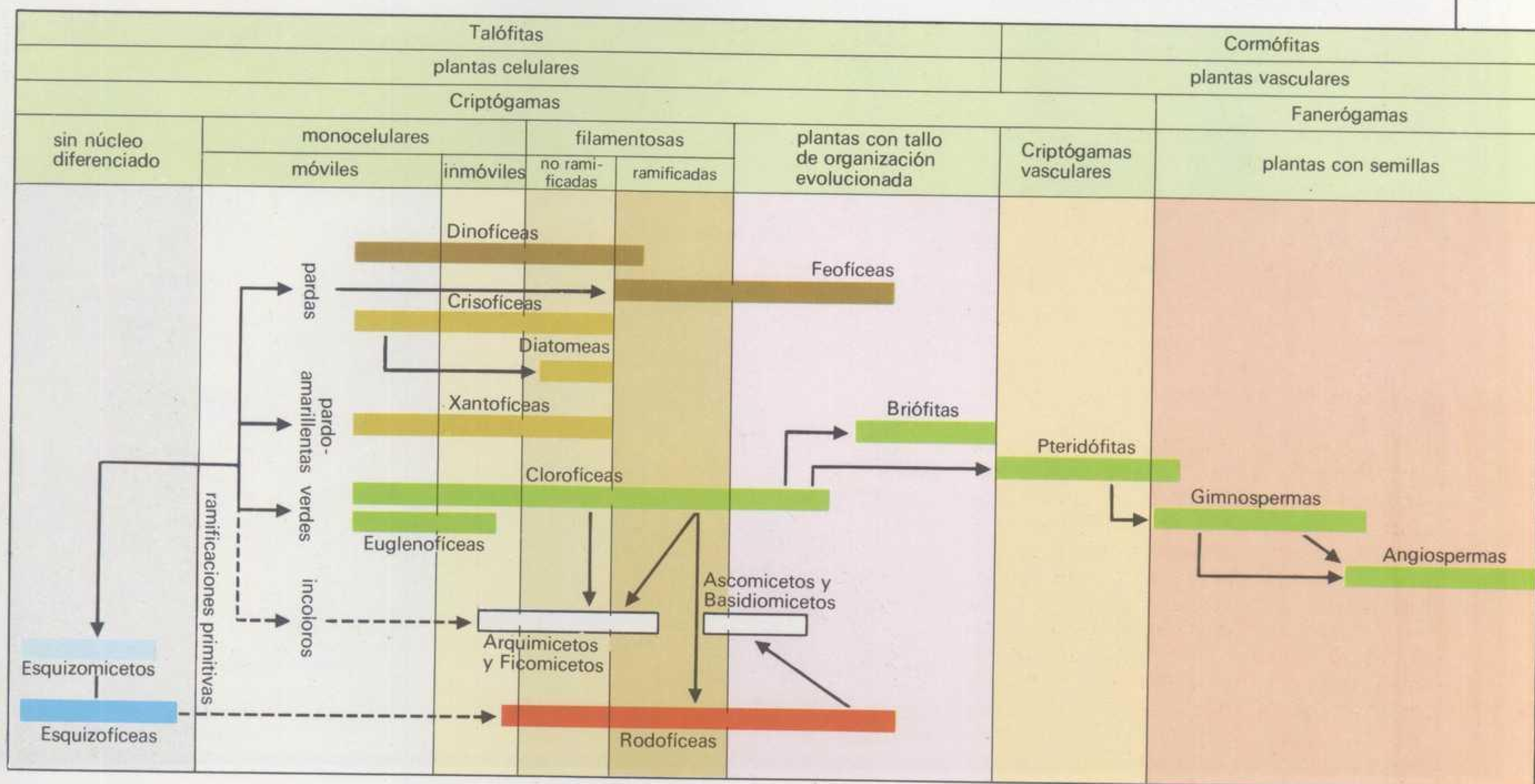
Angiospermas Las *Angiospermas*, plantas provistas de flores, son las que han dominado el panorama evolutivo durante los últimos siglos; se clasifican de acuerdo con su estructura reproductora. En estas plantas la reproducción tiene lugar en su parte más vistosa, la flor, que está formada por grupos de hojas modificadas en miles de formas, colores y dimensiones. Los órganos masculinos y femeninos de la flor están situados, en la mayoría de los casos, muy próximos entre sí. El masculino (*androceo*) está formado por uno o varios *estambres*, que constan de una estructura alargada (*filamento*), en cuyo extremo se encuentra la *antera*, órgano que produce el polen. El *gineceo*, órgano femenino, está formado por uno o varios *pistilos*, que se encuentran dentro de la zona rodeada por los estambres; cada pistilo está formado por un *ovario*, que contiene los óvulos (que tras la fecundación se transformarán en semillas), y por un *estilo*, que sostiene el *estigma*, cuerpo glanduloso que recibe el polen durante la fecundación. Los órganos sexuales están rodeados por la *corola*, parte coloreada de la flor, que está formada por los *pétalos* y envuelta por el *cáliz*, grupo de hojas verdes o *sépalos* (a veces las hojas del cáliz y las de la corola no se pueden distinguir, como en el tulipán, y en esos casos ambas reciben el nombre de *tépalos*). Muchas especies carecen de algunas de estas partes, o presentan variantes de distinto tipo.

Para que tenga lugar la fecundación de los óvulos, es necesario que el polen llegue al estigma; hay algunas plantas, las menos, en las que puede darse una autopolinización, aunque en la mayoría de los casos el polen tiene que proceder de otra flor (en efecto, además de las que forman flores completas o hermafroditas, hay especies que forman flores masculinas, que sólo tienen estambres, y flores femeninas, que sólo tienen pistilos: se llaman plantas *monoicas*; también hay plantas con flores masculinas y femeninas en individuos separados, y reciben el nombre de *dioicas*).

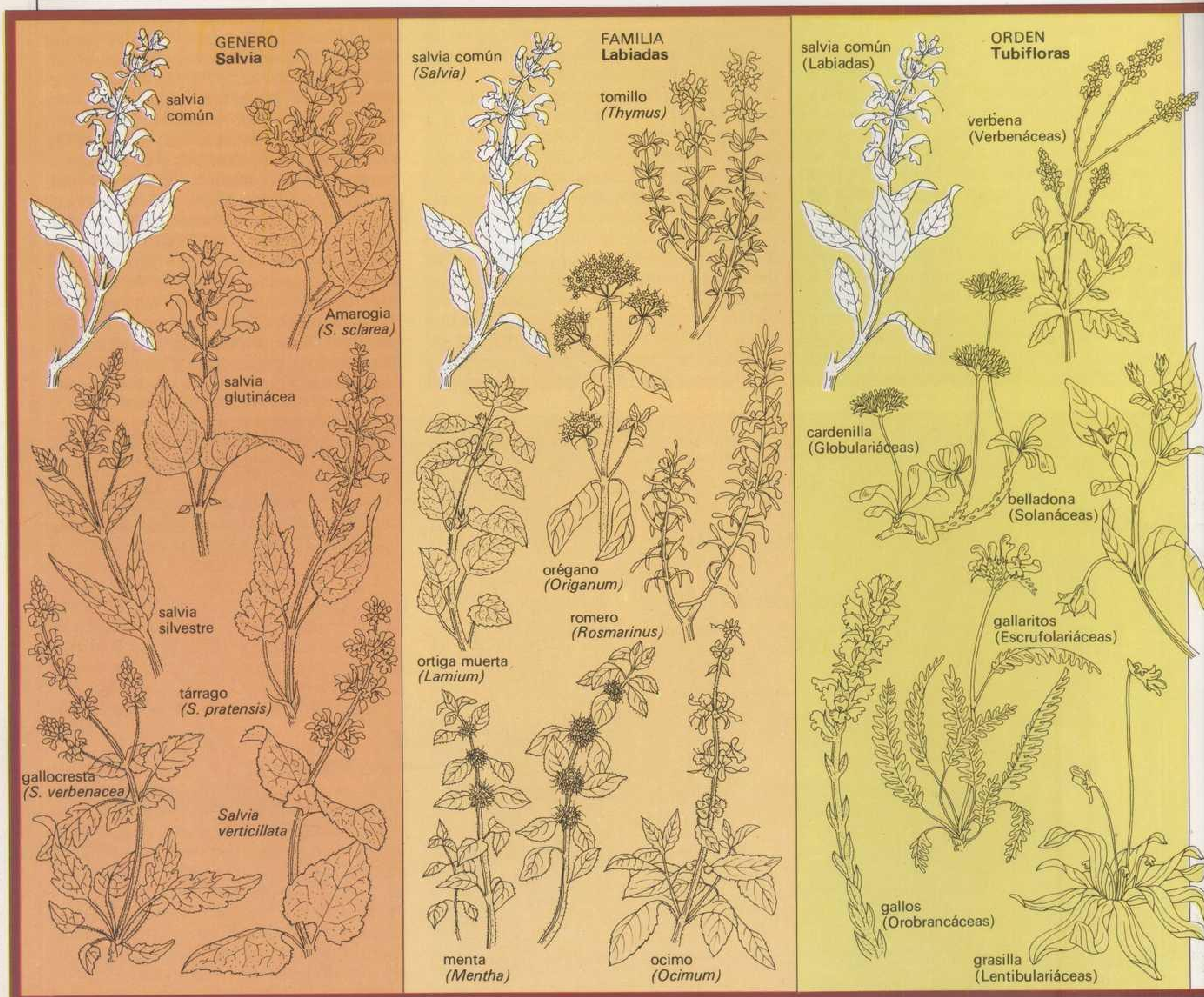
Las angiospermas disponen de varios métodos para efectuar la polinización, es decir, para reproducirse. Generalmente se realiza por medio de los insectos y del viento, que transportan el polen de una flor a otra. En el primer caso (plantas *entomófilas*) las flores suelen ser vistosas y con formas especiales para adaptarse a los insectos polinizadores. Cada vez que éstos visitan una flor, el polen, que forma un polvillo muy fino, se pega a su cuerpo y a su aparato bucal; luego, en su visita a otras flores, depositan el polen que llevan adherido. Cuando la polinización se realiza por medio del viento (plantas *anemófilas*), el polen es arrastrado por las corrientes de aire, que pueden depositar una pequeña cantidad en los estigmas de otras flores.

Una vez en los estigmas, los granos de polen forman un minúsculo tubo (tubo polínico), que atraviesa rápidamente el estilo y llega al ovario, donde penetra en el óvulo. A través de esta estructura tubular, dos *núcleos espermáticos* procedentes del grano de polen alcanzan el óvulo, y sólo uno de los dos se funde con el núcleo de la ovocélula. La fecundación puede ocurrir 3 ó 4 días después de la polinización. A partir de la ovocélula fecundada se forma el embrión, primera fase del desarrollo del nuevo individuo. El segundo núcleo espermático se une a un segundo núcleo femenino, formando el endosperma, un tejido de reserva que será consumido total o parcialmente por el embrión durante su desarrollo. A partir de este momento, el embrión y el endosperma empezarán a crecer, cambiando completamente la estructura de la flor: la corola (y a veces también el cáliz) se marchita y cae, la parte del óvulo forma el revestimiento de la semilla y el ovario aumenta de tamaño formando el fruto, en cuyo interior se encuentran las semillas.

En una semilla madura pero aún sin germinar, el embrión forma ya una pequeña planta completa en la que ya se perfilan todas sus partes esenciales: concretamente, posee uno o dos principios de hojas (cotiledones), con abundantes depósitos nutricios que alimentarán a la planta durante los primeros días de su desarrollo; las plantas cuyas semillas tienen un solo cotiledón (como el trigo, la palmera o la cebolla) se llaman *monocotiledóneas*, y las que tienen dos (como el rosal, el manzano y el geranio), *dicotiledóneas*. Las monocotiledóneas tiene hojas con nervadura paralela, mientras que en las dicotiledóneas la nervadura forma una red más o menos intrincada.



Gimnospermas La diferencia principal entre las Angiospermas y las Gimnospermas radica en la organización de las flores. En las Gimnospermas las flores carecen de ovarios y los óvulos están desnudos, al igual que las semillas que se forman a partir de ellos (que no se encuentran, por tanto, dentro de ningún fruto).



Arriba, un ejemplo de la clasificación de una planta, la salvia. La salvia real *(Salvia officinalis)* se distingue de las otras por algunas características específicas: tallo ramificado, hojas como máximo de 7 u 8 cm de largo, fuerte aroma, flores violáceas con forma bilabiada y corola de unos 2 ó 3 cm, dos estambres desarrollados y el resto rudimentarios; se encuentra en zonas de clima templado y cálido. El estudio comparado de sus caracteres con los de otras plantas permite clasificarla en el género *Salvia*, en la familia de las Labiadas, en el orden de las Tubifloras, en la clase de las Dicotiledóneas, en el tipo de las Espermatófitas y, por último, en el reino Vegetal.

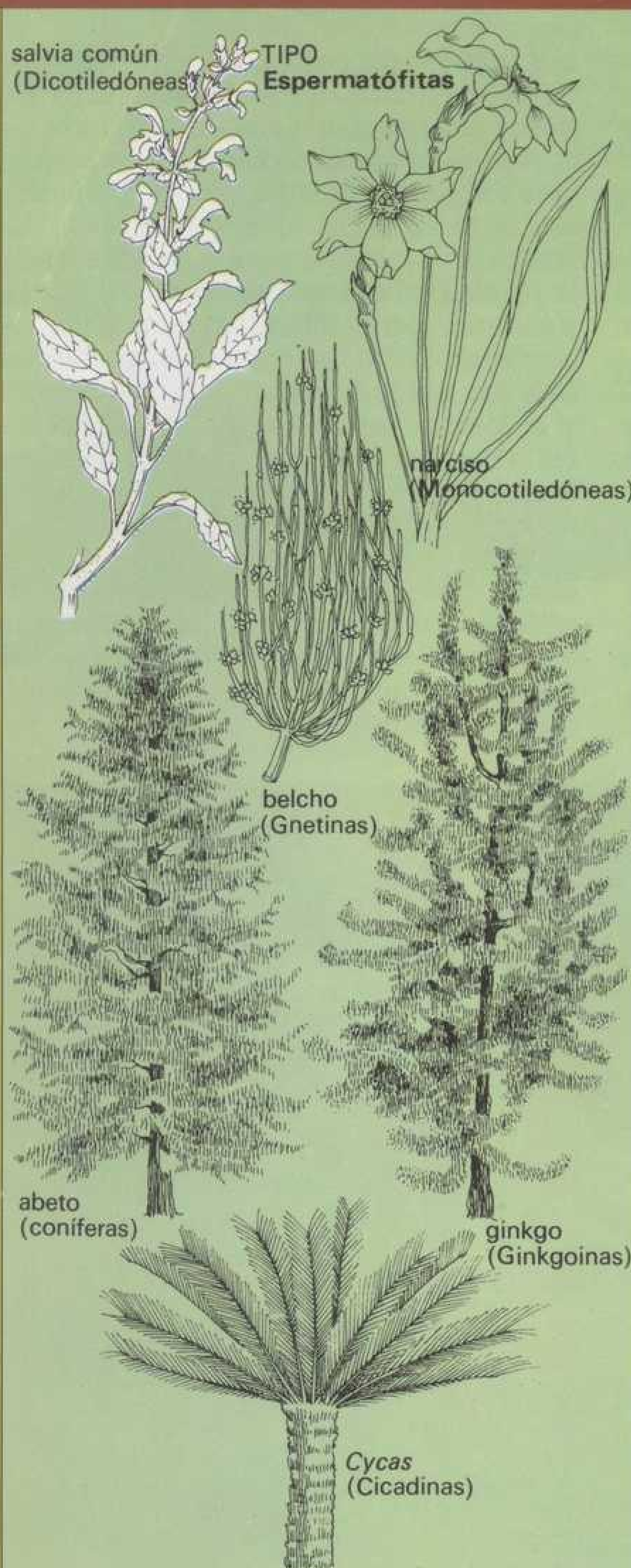
Este grupo de plantas no recurre a los insectos para la polinización, sino que se sirve exclusivamente del viento: por ello, las flores no son nada llamativas.

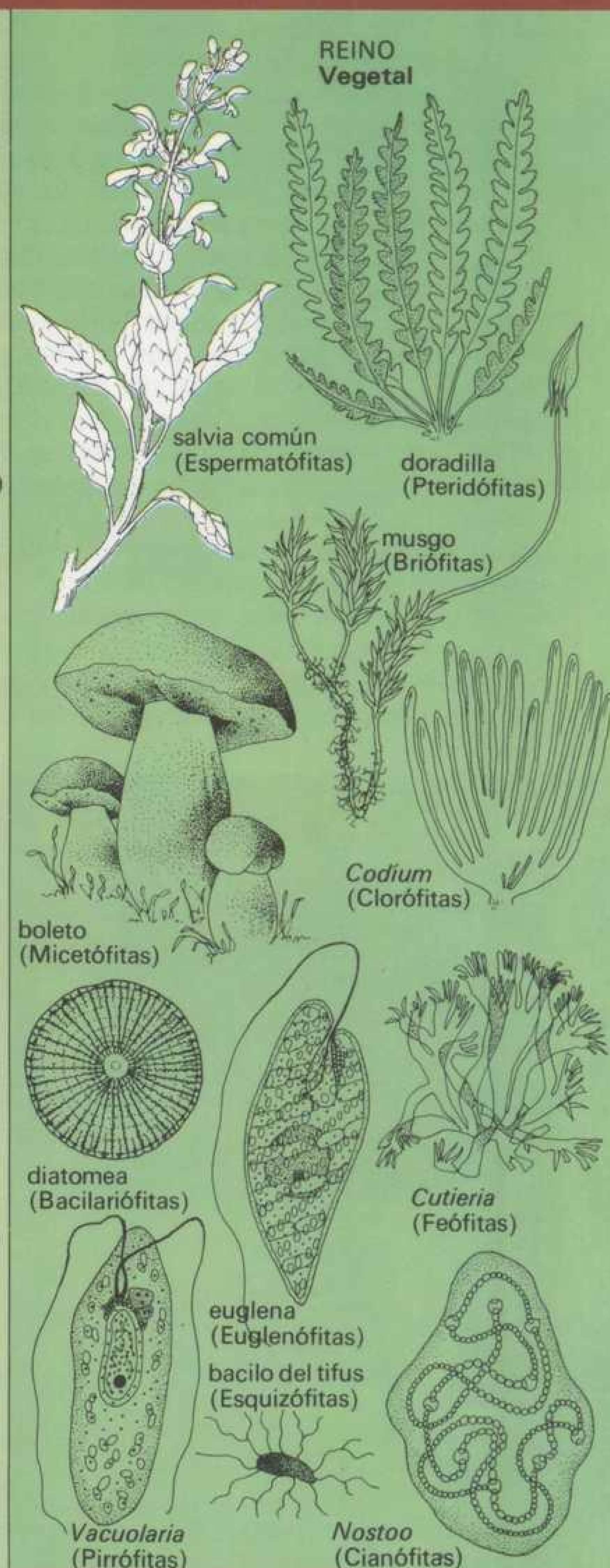
Entre las Gimnospermas más comunes se pueden citar las coníferas (pinos, abetos, enebros, etc.), cuyas flores están protegidas por pequeñas escamas, reunidas en conjuntos de formas diversas (piñas o "conos"). Dado que las Gimnospermas forman grupos de flores incompletas (unisexuales), hay conos masculinos y femeninos. Estos últimos son más grandes, y se forman en las ramas cortas. Los conos masculinos se forman cada primavera en grupos situados en los extremos de las ramas más largas. Tras haber liberado su polen, se marchitan y caen al suelo. En la época de polinización, los conos femeninos se abren ligeramente, y de esta forma permiten que el polen entre hasta donde están los óvulos. En las plantas Gimnospermas, la fecundación requiere mucho tiempo (a menudo más de un año) debido a la lentitud con que el polen forma el tubo por medio del cual alcanza el gameto femenino. Al cabo de unos tres años, las semillas ya están maduras y las escamas se abren, dejándolas caer. En muchos lugares se aprovechan las semillas de conífera como alimento: en el área mediterránea, en especial, se aprecian mucho los piñones del pino piñonero (*Pinus pinea*), utilizados sobre todo en confitería.

Helechos, musgos y hepáticas Las Angiospermas, las Gimnospermas y los helechos pertenecen a las llamadas plantas vasculares, que poseen un sistema de vasos diferenciados para el transporte de sustancias nutritivas y de agua.

Los helechos (división Pteridófitas, clase Filicinas) constituyen una de las clases más numerosas del reino vegetal, con unas 10.000 especies. Quizá uno de los elementos más fascinantes de las húmedas selvas tropicales sea precisamente la enorme variedad de helechos (algunos de los cuales alcanzan los nueve metros de altura). Estas plantas no florecen ni forman semillas. En el envés de sus hojas tienen unos grupos de *soros* que están llenos de pequeños órganos redondos, llamados *esporangios*, en los que se encuentra un gran número de *esporas*. Estas últimas son







lanzadas violentamente al aire cuando maduran los esporangios, y caen al suelo en donde forman una especie de hojilla llamada *gametófito* (*protalo*). En él se forman los gametos masculinos y femeninos; el masculino, que se desplaza por la capa de agua que recubre el protalo, llega hasta el femenino y a partir de su unión se forma la nueva planta.

Los musgos (de los que hasta ahora se han clasificado unas 15.000 especies) pertenecen a las Briófitas, plantas que no poseen auténticas raíces (en su lugar hay unos simples filamentos o rizoides). La parte más vistosa del musgo, que forma el tapiz verde, está formada por los gametófitos. En el ápice del tallo de los gametófitos crecen los gametos femeninos y masculinos, de cuya fusión surgen los embriones que forman los esporófitos. Estos últimos producen esporas, que al caer al suelo dan lugar a nuevos gametófitos, completando así el ciclo reproductor. A las Briofitas pertenecen también las hepáticas (unas 9.000 especies), que tienen el mismo mecanismo reproductor que los musgos. Se distinguen de ellos por su forma lobulada.

Algas y hongos Hay unas 20.000 especies de plantas acuáticas conocidas como algas (grupo de las Talófitas). Sus dimensiones pueden variar desde las algas microscópicas a las que alcanzan el tamaño de un abeto (los gigantescos sargazos). La mayor parte de las algas se encuentran en el mar, principalmente a flote, y por lo tanto a merced del flujo de las aguas. El resto están adheridas a las rocas (Litofíticas), a los fondos de arena, sobre otras plantas (Epifíticas), y algunas, incluso, sobre los animales (Epizoicas). Las algas se clasifican sobre todo de acuerdo con el color. Forman el primer eslabón de la cadena alimentaria de los organismos acuáticos. Las formas más simples de algas fueron seguramente las primeras plantas que aparecieron en nuestro planeta. Se multiplican muy deprisa, y su ciclo reproductor varía mucho de una especie a otra.

Hay otras Talófitas que difieren enormemente de las plantas verdes: los hongos; este grupo comprende los hongos propiamente dichos, las levaduras y los mohos. No poseen clorofila y no pueden, por tanto, realizar la función clorofílica (fotosíntesis); obtienen el alimento a partir de la materia orgánica viva —animal o vegetal— (parásitos) o de la muerta (saprófitos). Hay una tercera forma de obtención de alimento en los hongos: la *micorriza*. En este caso, el hongo forma una red de filamentos en estrecho contacto con las raíces de una planta verde, dando lugar a una relación simbiótica.

Véase **Algas; Arbol; Flor; Fruto y árboles frutales; Hoja; Levaduras; Mohos; Plantas, enfermedades; Raíz; Vegetación, mapa de**

Plantas, enfermedades



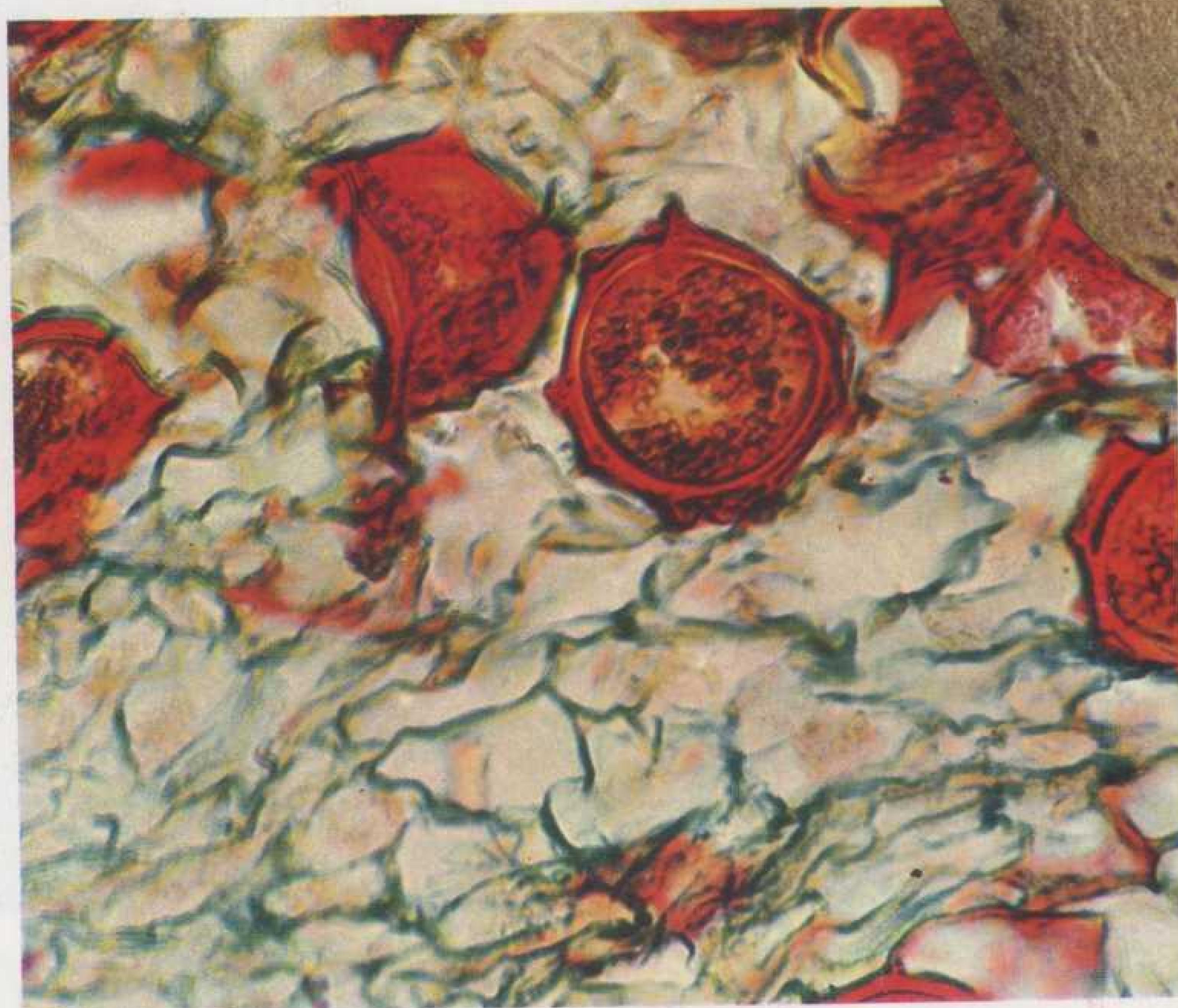
Las enfermedades de las plantas han alterado, a veces, el curso de la historia: la destrucción de la cosecha de patatas de 1845-46 obligó a un millón de irlandeses a emigrar a Estados Unidos; la enfermedad de la roya del café, que asoló las plantaciones de Ceilán en 1870, no sólo desplazó a Sudamérica el centro mundial de la producción de café, sino que también contribuyó a que el té se convirtiera en la bebida nacional inglesa; la invasión de los viñedos europeos por el insecto *Philloxera vastatrix* a finales del siglo XIX y principios del actual determinó la plantación de gran cantidad de hectáreas de viñedo en Argelia, país no consumidor de vino por tradición religiosa, y arruinó a miles de viticultores europeos. Aún hoy las enfermedades de las plantas pueden ocasionar graves pérdidas económicas, y un claro ejemplo son las compañías dedicadas al cultivo del plátano en América Central, que dedican importantes partidas de



sus presupuestos a la prevención de las enfermedades de las plataneras.

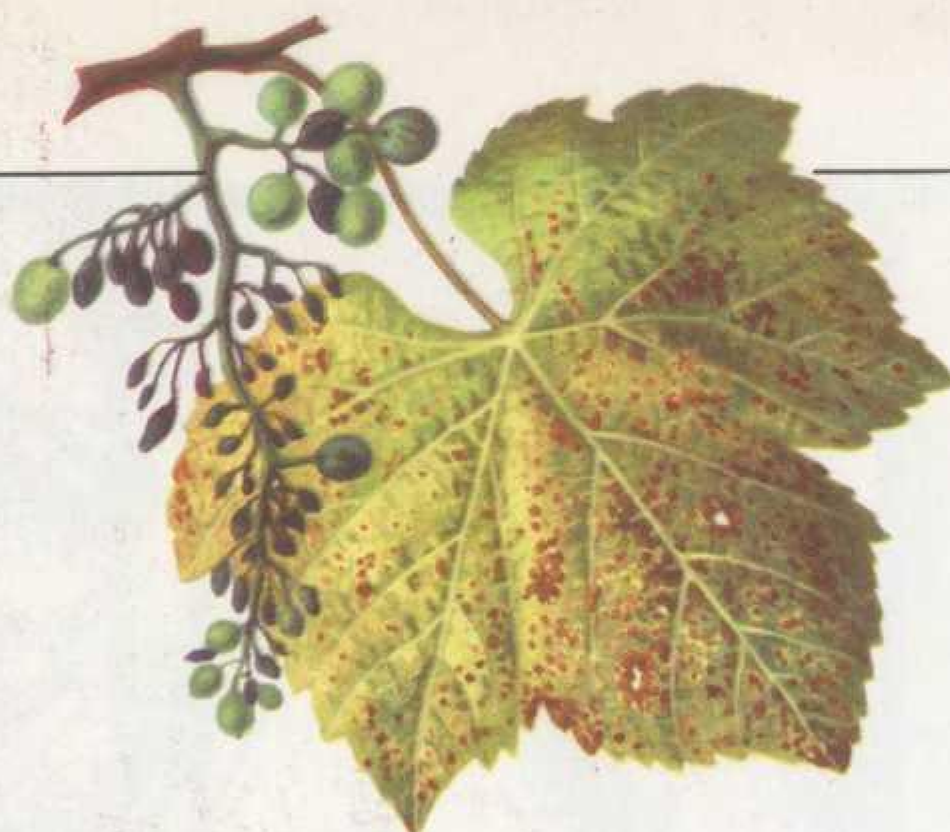
Definición y clasificación Dejando a un lado los daños causados por los depredadores (incluido el hombre) que destruyen las plantas para alimentarse, se puede considerar como enfermedad todo aquello que altera o modifica el ciclo normal del crecimiento vegetal, impidiendo el nacimiento y la maduración de las semillas. Por lo general, las enfermedades se clasifican atendiendo al agente que las provoca: virus, micoplasmas, hongos, bacterias, algas, gusanos, artrópodos y a veces incluso otras plantas. Hay enfermedades que sólo atacan a determinadas especies vegetales. Se pueden distinguir tres tipos de enfermedades: las inducidas por causas físicas (no por parásitos), las provocadas por organismos vivos y las producidas por virus.

Causas físicas Muchas veces son las condiciones del entorno las que provocan la enfermedad: la falta de agua unida a unas altas temperaturas puede detener el crecimiento vegetal y hacer que la planta se marchite; un exceso de agua, por el contrario, puede hinchar los tejidos e impedir la adecuada oxigenación de las raíces. El hielo, sobre todo fuera de la época en que son normales las heladas, provoca daños importantes e incluso la muerte de la planta. La luz es indispensable para el crecimiento vegetativo, y si es insuficiente puede provocar clorosis, que es la ausencia de pigmento verde; en tales casos la planta detiene su crecimiento y tiende a enfermar con facilidad. Los elementos indispensables, sobre todo el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el calcio, el potasio y el fósforo, tienen que estar disponibles en la medida justa para evitar que surjan enfermedades. En el suelo también tiene que haber una equilibrada cantidad de elementos, como el cobre, el cinc, el boro, el hierro, el cloro, el molibdeno y el manganeso. Por último, tanto los fertilizantes como las hormonas y los herbicidas, en cantidades excesivas, pueden también destruir la planta.

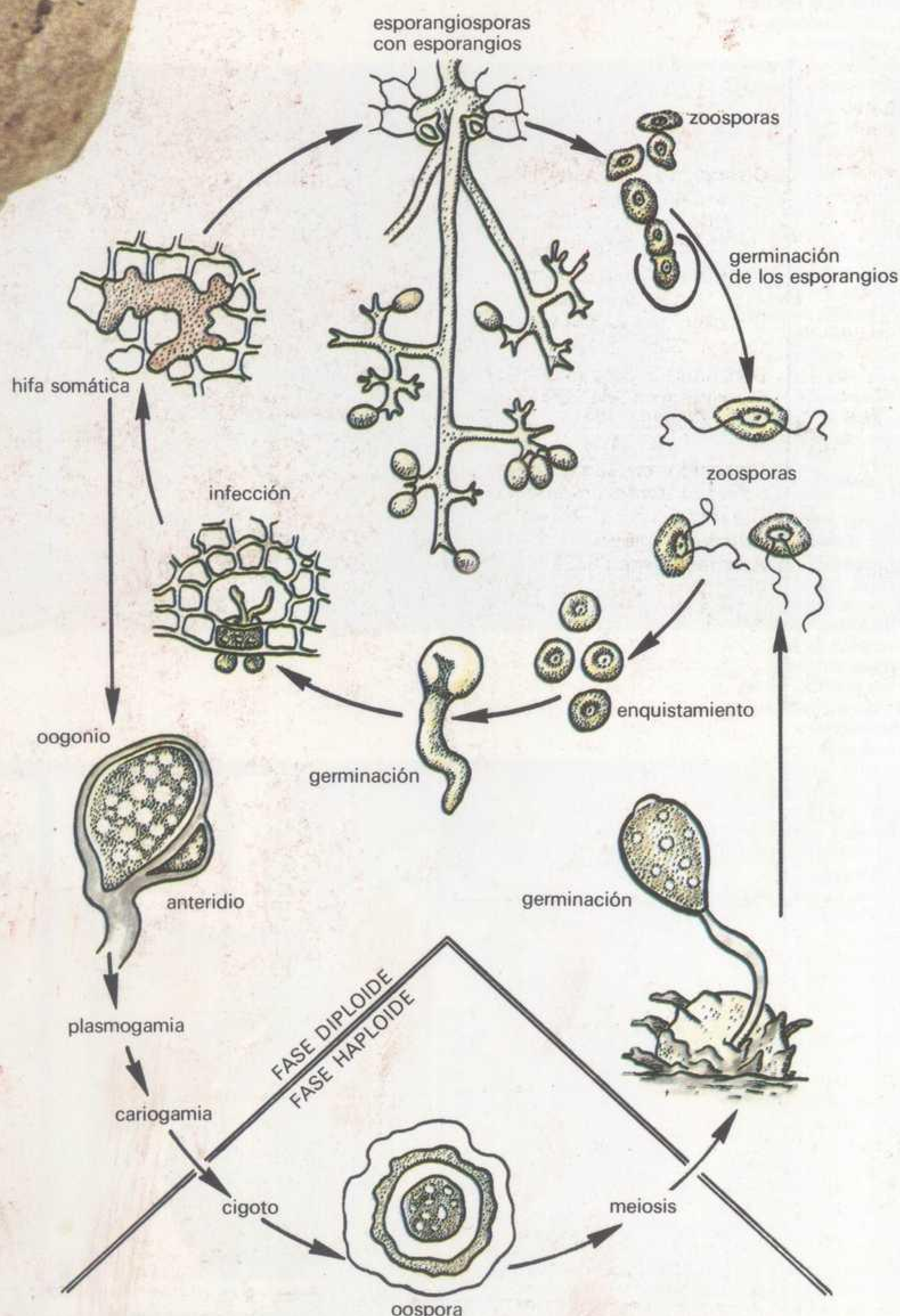


La buena salud de una planta cultivada es una condición necesaria para que la productividad agrícola sea elevada y para que el producto sea aceptado en el mercado. Por lo tanto, su importancia económica es grande. Los agentes de las enfermedades, como el hongo *Synchytrium endobioticum* (sobre estas líneas, al microscopio), pueden provocar graves daños. Arriba, el agente de la "roña negra de la patata", una enfermedad que se pone de manifiesto con la aparición de excrecencias tumorales negras claramente visibles en la superficie del tubérculo. La roña se difundió debido al transporte de unas regiones a otras de patatas de siembra contaminadas. Esta grave enfermedad, que era completamente desconocida en la zona de origen de la patata, se transmitió a los tubérculos de Europa a partir de otras plantas enfermas de la misma familia, y posteriormente fue transportada hasta el área de origen de este cultivo en los Andes peruanos.

Enfermedades provocadas por otros organismos La convivencia de un organismo con otro es un hecho complejo, y no siempre de consecuencias negativas. Cuando hay simbiosis, resulta favorable para ambos. Los microorganismos desempeñan la importante función de descomponer la materia orgánica muerta, enriqueciendo el suelo y liberando dióxido de carbono a la atmósfera, pero cuando atacan a otro organismo son muy dañinos y se convierten en parásitos. Los vegetales son atacados por unos 200 tipos de bacterias diferentes, aunque por lo general no es una sola cepa la que provoca la enfermedad: se pueden asociar varias cepas y provocar nuevas enfermedades. La mayoría de las enfermedades se describen



El mildiu de la vid es una enfermedad de origen fúngico que se ha extendido muchísimo. En primer lugar aparecen unas lesiones en las hojas, que luego se extienden a casi toda la planta. Esta enfermedad se combate con productos a base de azufre. Los métodos de lucha contra este hongo patógeno (*Plasmopara viticola*) deben tener en cuenta el complejo ciclo biológico del parásito, con alternancia de fases haploides (haplofase) y diploides (diplofase). En la haplofase se diferencian unos órganos masculinos (anteridios) y otros femeninos (oogonios). De la unión de ambos surge la oospora; el parásito hiberna en ese estadio. En primavera germina y forma células móviles flageladas (zoosporas), que tras un enquistamiento pueden germinar nuevamente en la superficie de la hoja, penetrando en sus tejidos a través de los estomas. De esta forma se extiende la infección: partiendo del envés de la hoja se desarrollan unos órganos esporangióforos para la reproducción asexual (abajo, en el esquema), provistos de esporangios. La →



→ intensa proliferación del hongo hace que la enfermedad se extienda a gran parte de la planta, atacando no sólo a las hojas, sino también a los sarmientos y a los racimos. La germinación de los esporangios da lugar a gran número de esporas móviles, que prosiguen el ciclo asexual haploide. Como la germinación de las esporas y los esporangios es más intensa si a un período húmedo le sigue otro cálido, los agricultores aplican los remedios contra la enfermedad después de las lluvias. En efecto, cuando mejor se puede atacar al parásito es durante la fase de zoospora.

atendiendo a unos caracteres generales, como las agallas (tumores localizados), el marchitamiento, las manchas, la marcescencia y las lesiones. Las bacterias atacan a las plantas de muchas formas: a menudo penetran a través de las heridas (por ejemplo, en el caso de un injerto mal hecho), de los estomas o de las partes de las flores infectadas por las abejas. Un caso típico es el golpe de fuego, la primera enfermedad de las plantas cuyo origen bacteriano se pudo establecer. Las bacterias empiezan su ataque penetrando en las células y matándolas; durante el invierno siguiente permanecen en la madera en putrefacción y al llegar la primavera salen a la superficie para, con la ayuda de los insectos y los agentes atmosféricos, infectar otra planta. Hay enfermedades que sólo penetran a través de unas heridas especiales, y que atacan exclusivamente a las zonas que rodean la herida, pero con el mismo resultado: destrucción y muerte.

Los hongos son los que producen más enfermedades. En 1904 provocaron en Estados Unidos una terrible epidemia en los castaños. Cuando ya en 1908 se trató de actuar para combatir la plaga, era demasiado tarde y todo intento de atajar el mal resultó inútil. La enfermedad se pone de manifiesto con la aparición de manchas amarillas y marrones que invaden y acaban con los brotes de los castaños; casi siempre muere el árbol, aunque de sus raíces suelen brotar nuevas ramas que son atacadas en seguida. El contagio tiene lugar por medio del viento, la lluvia y los pájaros: es así como casi ha desaparecido el castaño americano. Otras enfermedades provocadas por hongos que han hecho estragos en el mundo son: la enfermedad del olmo holandés, la roya del tallo del trigo y la pobredumbre de la madera (a esta última son debidas la mitad de las pérdidas de madera). El hongo ataca a la planta produciendo unas formaciones filiformes, llamadas *hifas*. Tiene que haber unas condiciones de humedad y temperatura adecuadas para la difusión de la enfermedad, aunque el desarrollo de ésta depende sobre todo de factores fisiológicos y genéticos del hospedador. Por ejemplo, la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en el suelo tiene mucha importancia, sobre todo si el agente infeccioso ataca a las raíces. Cuando las condiciones son favorables para la extensión de la enfermedad, ésta puede alcanzar las dimensiones de una epidemia, llegando a amenazar la supervivencia de la especie.

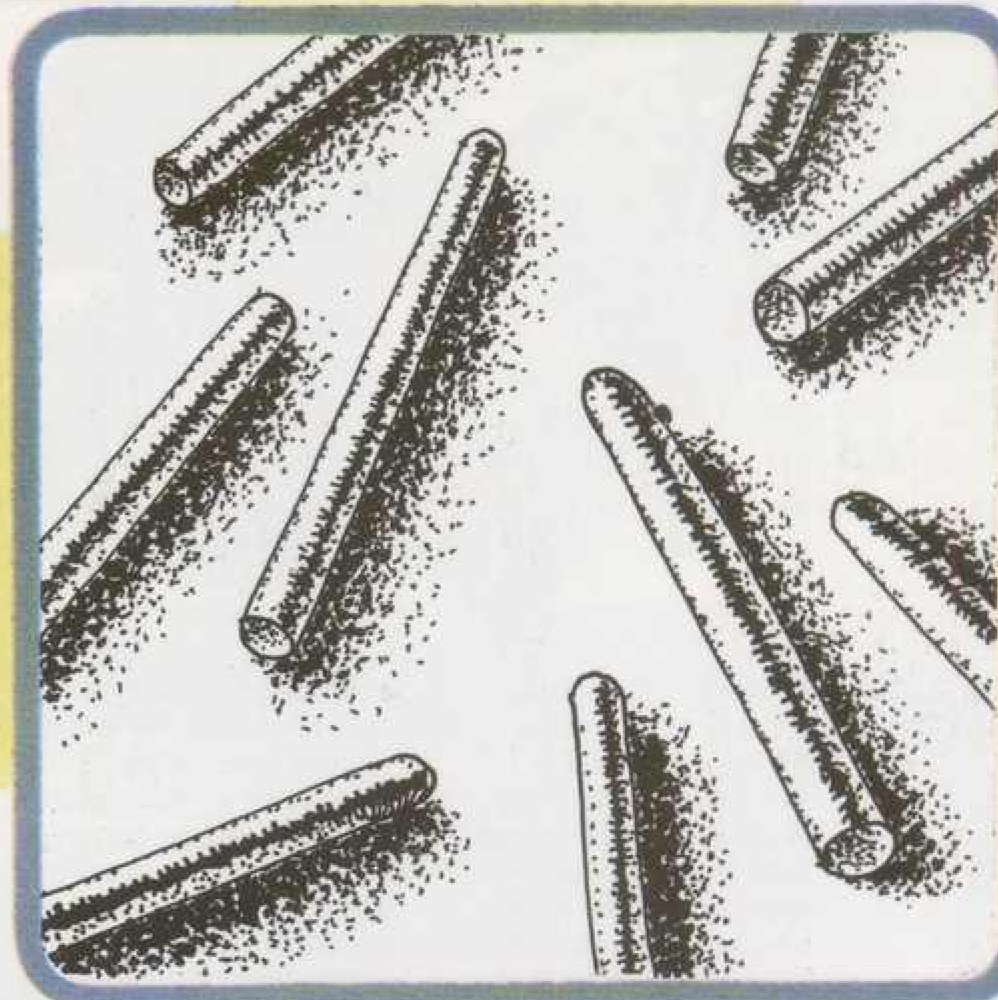
Enfermedades virales Las restantes enfermedades de las plantas son provocadas por los virus, que en esencia están formados por un solo filamento de ácido nucleico rodeado de proteínas. Los virus invaden las células sanas y las destruyen. Luego se multiplican para extender la infección. Los síntomas son muy variados, desde la pérdida de color a la necrosis y la muerte, pasando por la detención del crecimiento y las deformaciones. Estas enfermedades se transmiten de unas plantas a otras por simple contacto, en ciertos casos, o, la mayoría de las veces, a través de los insectos, del suelo o de los injertos de partes enfermas. Las enfermedades virales se combaten destruyendo o aislando los ejemplares enfermos y creando variedades resistentes a la infección.

Además de las bacterias y los virus, también hay ciertos tipos de gusanos que pueden ser causa de enfermedades, así como otras plantas. Los nematodos atacan a todas las plantas, y al alimentarse de raíces enfermas transmiten los virus a través de la saliva; en los puntos en los que atacan a la planta pueden producirse infecciones bacterianas y fúngicas. Hay algunas plantas muy vistosas que pueden ser peligrosas para otras. El muérdago, la tradicional planta de Navidad, crece encima de la corteza del árbol hospedador y extrae de él el agua y las sales minerales. También la cuscuta es una planta parásita que, al igual que el muérdago, debilita o mata al hospedador.

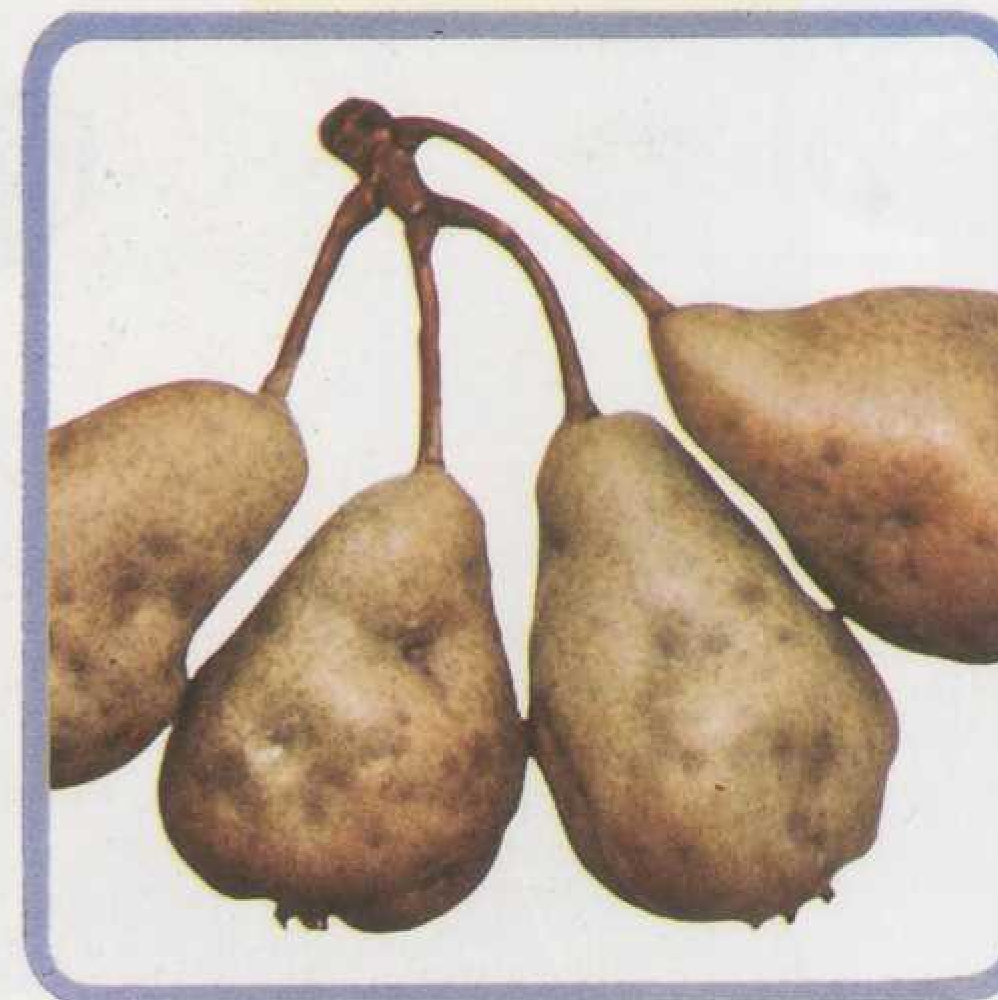
Los síntomas de las enfermedades de las plantas En las enfermedades de las plantas, como en las demás, los síntomas tienen mucha importancia, ya que ayudan a realizar un diagnóstico del tipo de enfermedad y a encontrar el remedio. Los síntomas más frecuentes son el cambio de color y las manchas de los capullos, que pueden estar provocadas por una enfermedad o por falta de humedad. En la mayoría de los casos las plantas enfermas no presentan un desarrollo normal. Otros síntomas son las formaciones anómalas, como los pelos, las verrugas y las excrescencias, o la aparición antes de tiempo de hojas, flores y frutos.

Los métodos de lucha contra las enfermedades Es preciso tomar medidas preventivas y terapéuticas contra las enfermedades de las plantas, sobre todo en el terreno agronómico. Dichas intervenciones se realizan principalmente durante el período de reposo vegetativo o antes de la siembra. Incluyen dos tipos principales: el mecánico y el químico. El primero tiende a eliminar las formas patógenas en hibernación y a combatir el desarrollo de parásitos, mientras que el segundo comprende una serie de productos llamados *fitofármacos*, que sirven para luchar contra los organismos patógenos que ya se han introducido en la planta, así como para prevenir su invasión.

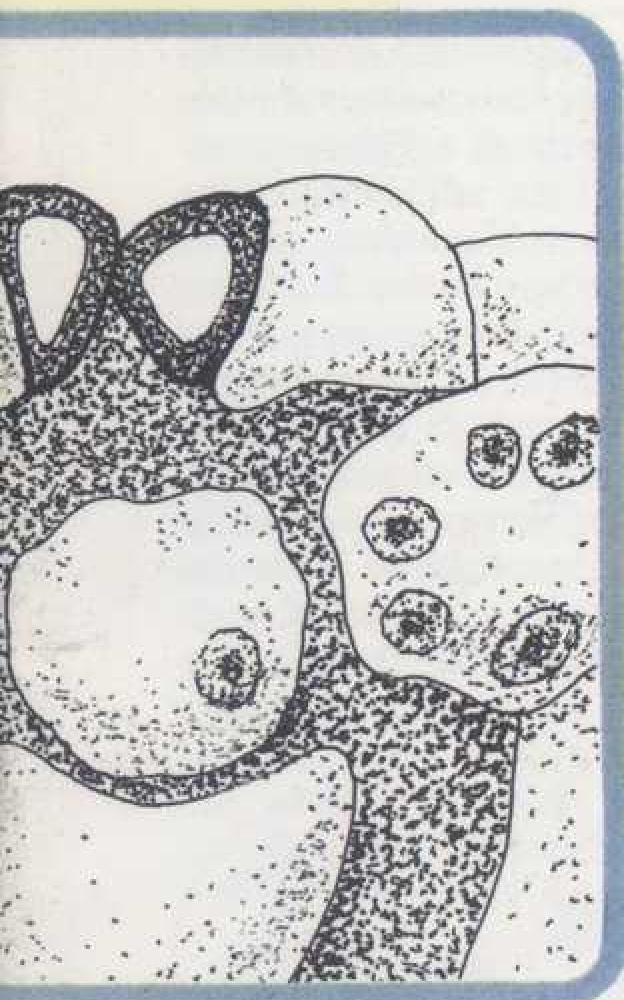
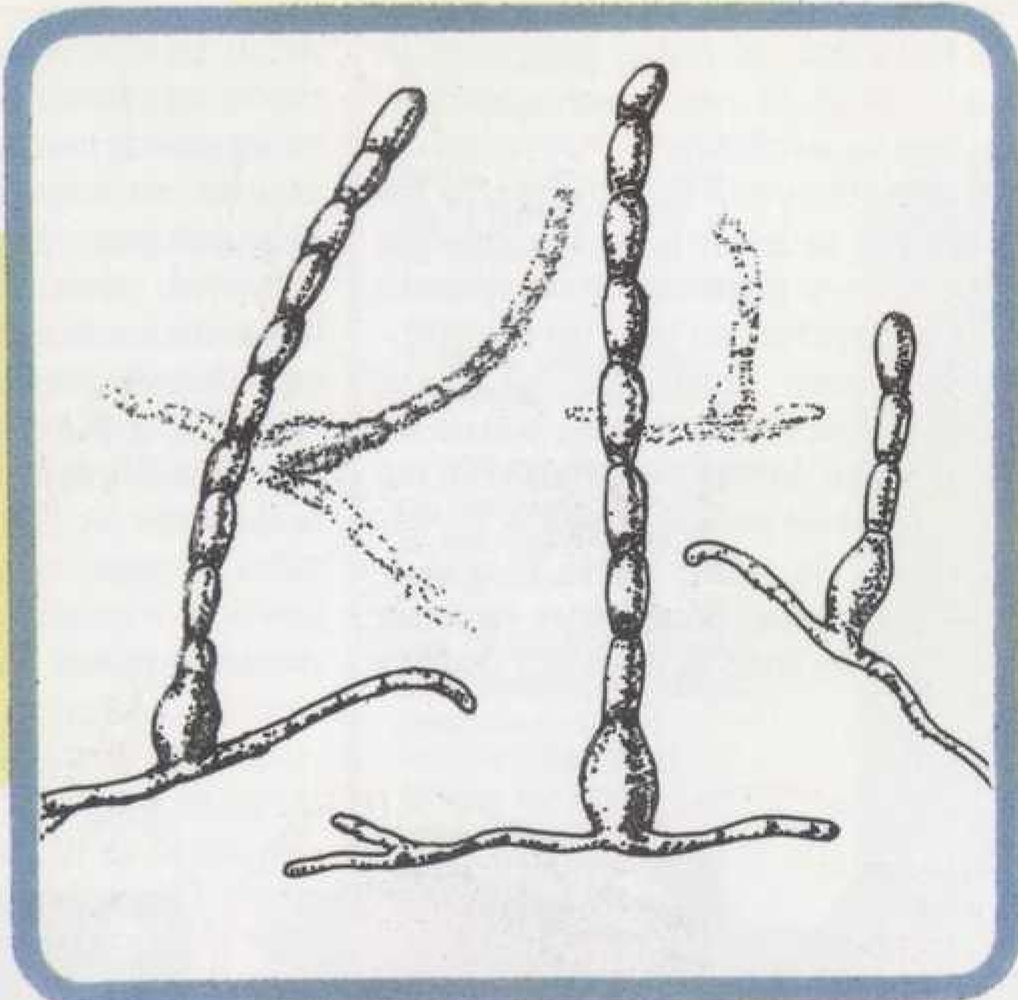
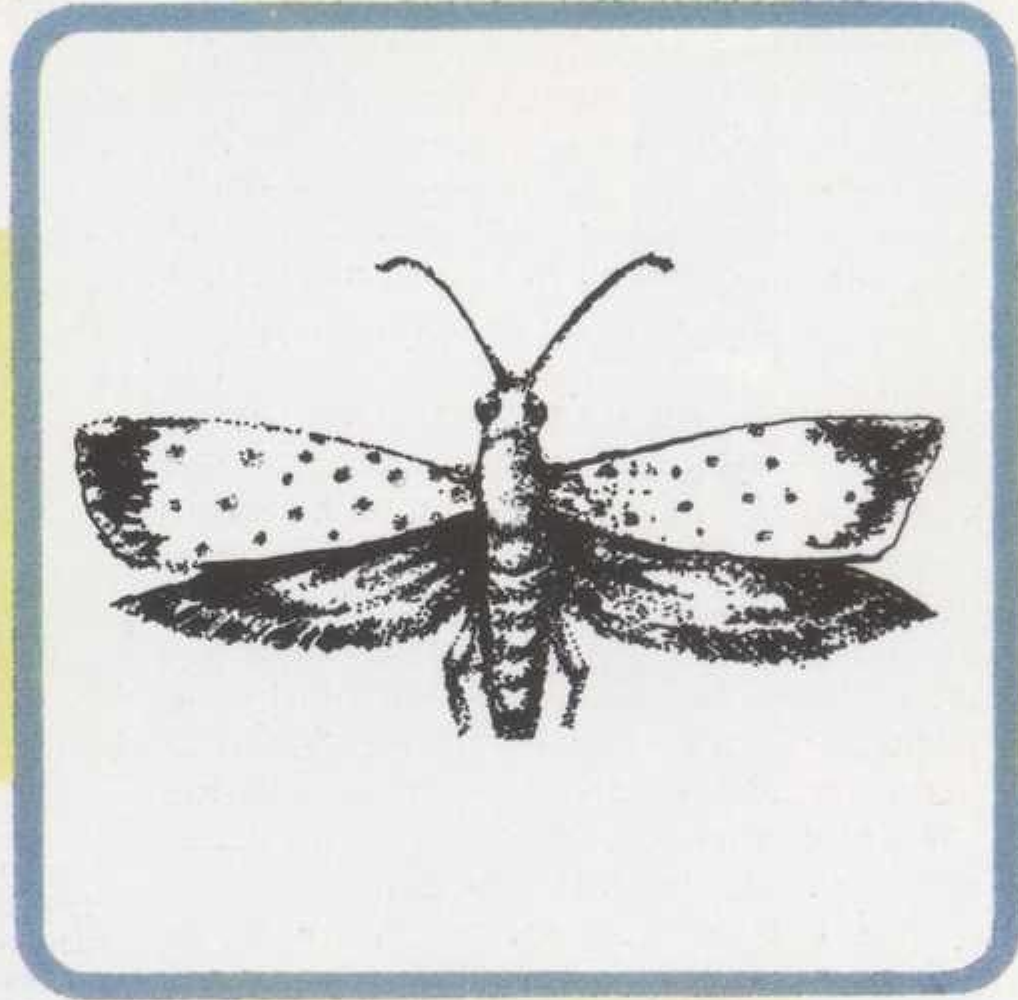
Véase **Agricultura; Bacterias; Parásitos; Plantas; Virus**

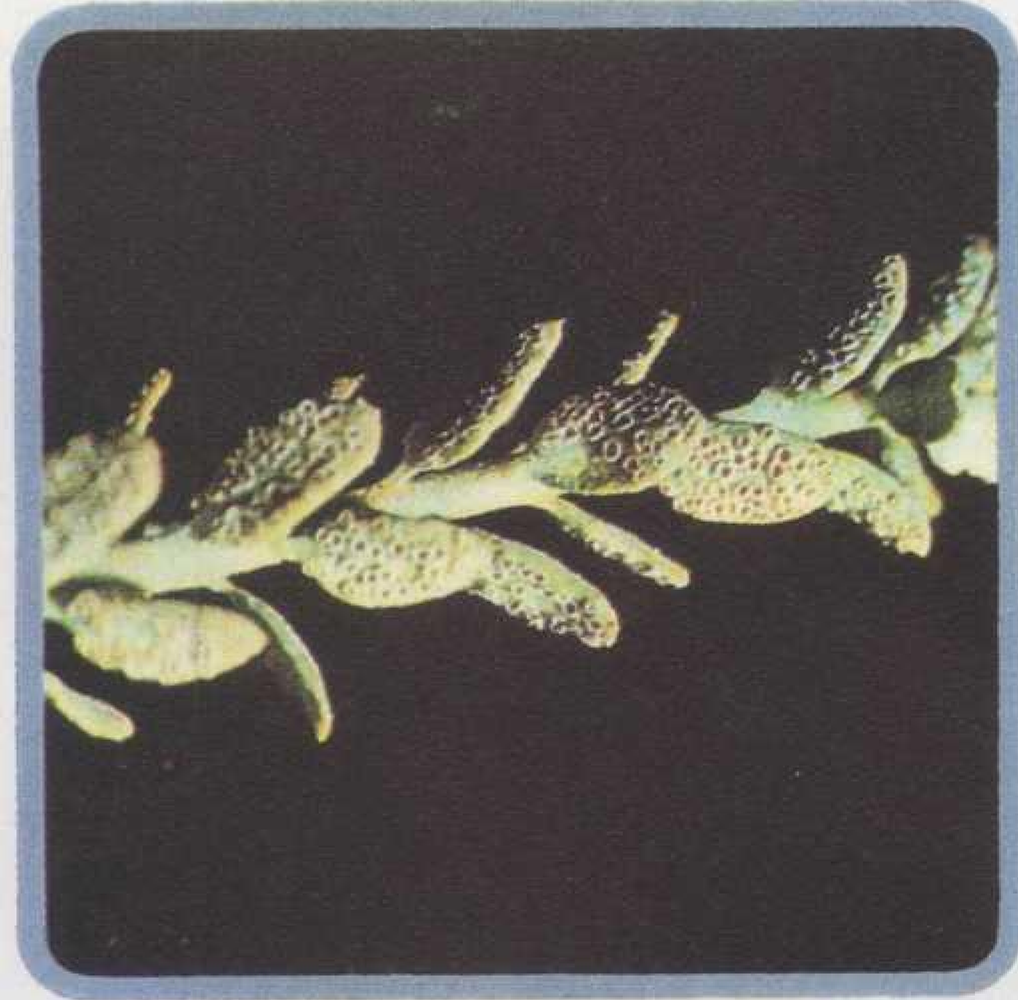


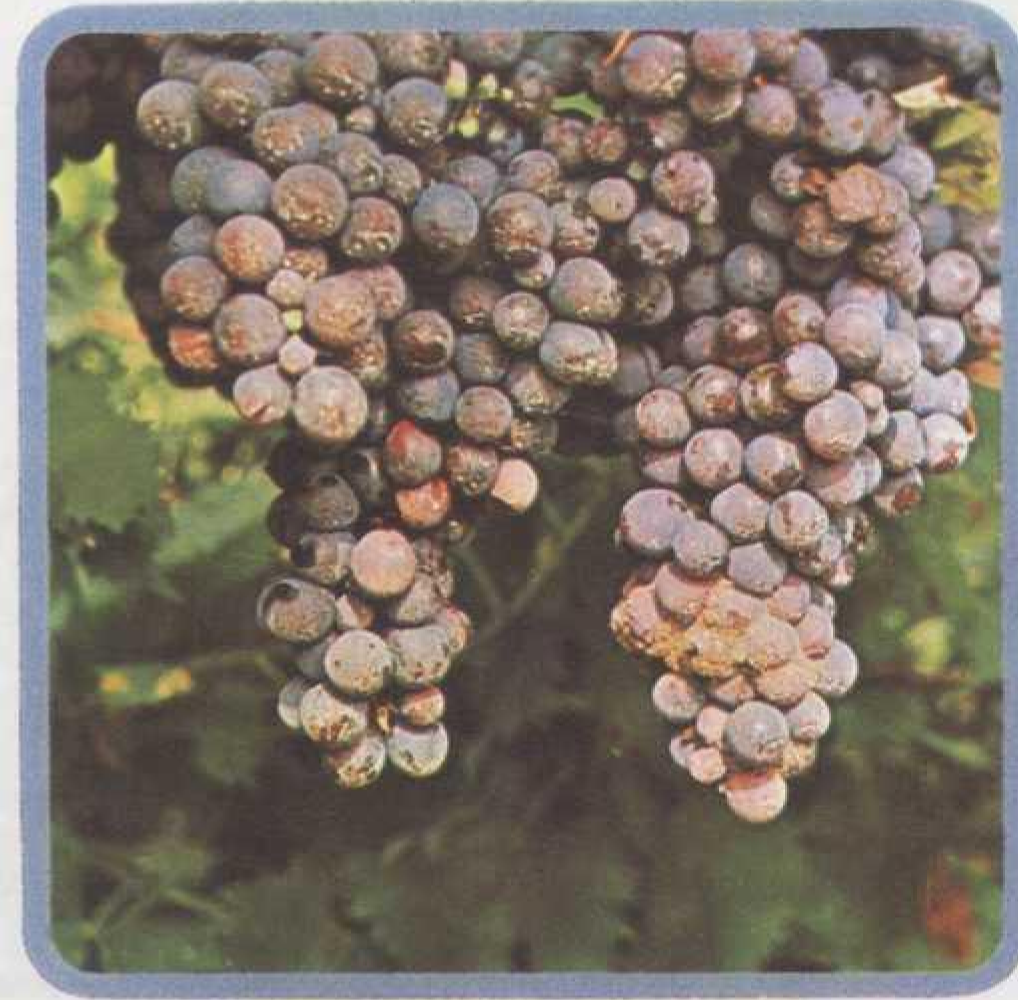





Los agentes patógenos que atacan a las plantas provocando graves daños en la agricultura son muy numerosos. La Fitopatología (ciencia que estudia las enfermedades de los organismos vegetales) distingue a este respecto entre varios tipos de agentes, que aparecen en la parte superior de la figura. Los principales son los virus, las bacterias, los hongos y los insectos; sus efectos en las plantas son variados. Los virus dan lugar a infecciones llamadas virosis, como el mosaico del tabaco y la litiasis de la pera. Se trata de unos procesos degenerativos de las células, debidos a que los virus (que son parásitos internos) producen lesiones celulares específicas en los distintos tejidos. Las bacterias y los hongos, en cambio, son unos parásitos que se localizan en el exterior de los cuerpos celulares de las plantas. Entre las más conocidas enfermedades provocadas por bacterias vemos aquí los "tumores" y la "roña" del olivo, que se aprecia claramente en un fruto cortado. Los hongos microscópicos, también llamados mohos, provocan enfermedades de rápido desenlace, representadas aquí con imágenes de una infección de *Uromyces* en *Euphorbia cyparissias* (lechetrezna), y del "tizne" de la vid. Los insectos, como la polilla del manzano (en la figura aparece un adulto), pueden ser la causa de gravísimas enfermedades, como las lesiones de los Nepticúlidos en las hojas de la vid.




Plantas forrajeras

El ganado necesita, para su correcta alimentación, alimentos naturales ricos en celulosas. El forraje, que comprende una amplia gama de vegetales (herbáceos, hortalizas, legumbres, tubérculos, ...), posee esas celulosas. Puede ser suministrado a los animales en verde, bajo forma de pasto y heno, o también en seco, para lo cual se deja secar, se empaqueta y se almacena en silos. El forraje contiene una gran parte de salvado, lo que hace que sólo una pequeña porción sea digerible y que tenga un alto contenido en fibras que estimulan las contracciones del aparato digestivo. Con frecuencia, se mezcla con concentrados ricos en elementos nutritivos y poco voluminosos, como el grano, las harinas grasas y suplementos proteicos, fabricados industrialmente, para así equilibrar la dieta del ganado.

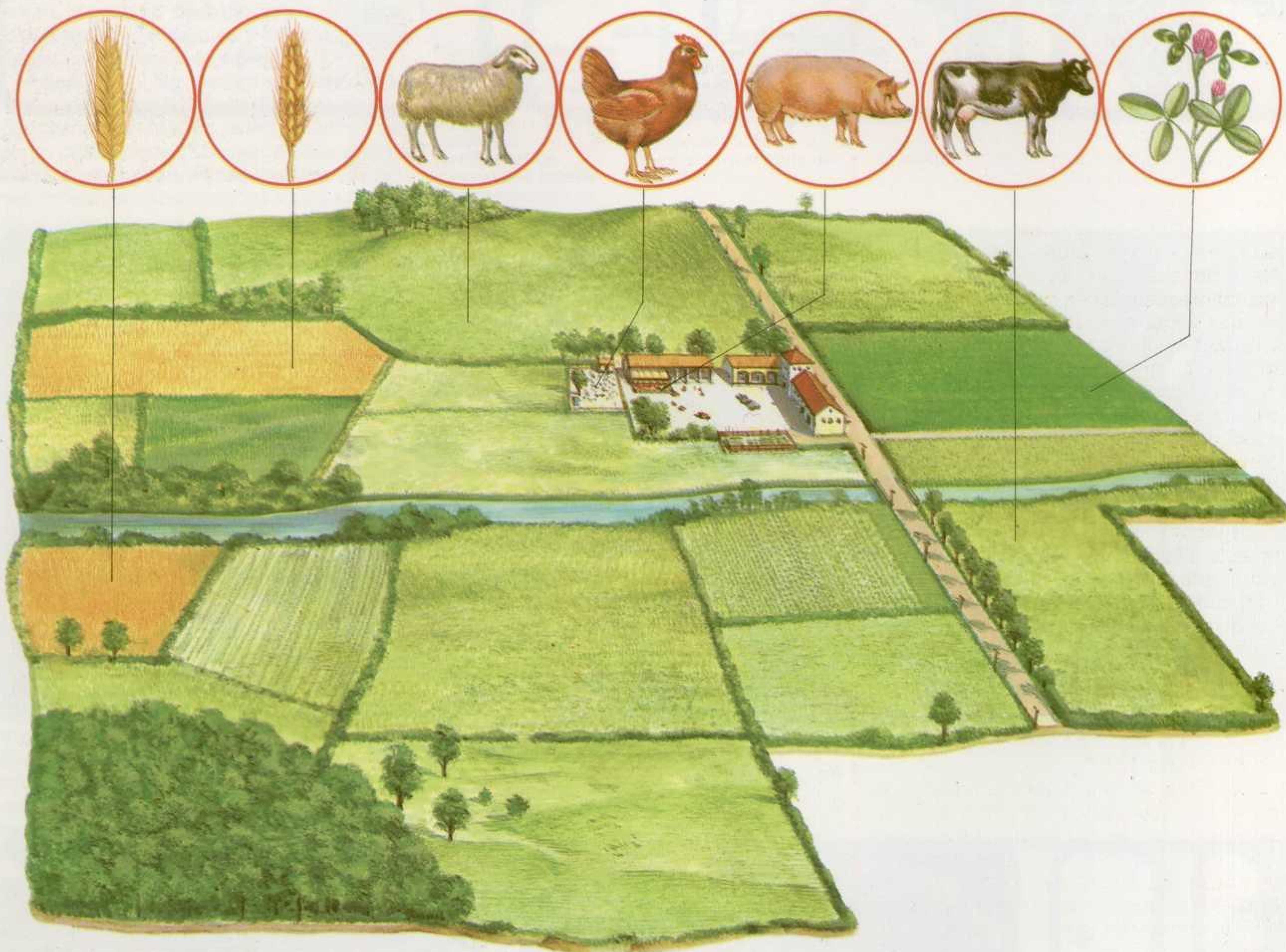
La producción de plantas forrajeras, generalmente, tiene gran importancia en los países ganaderos, donde buena parte de la superficie agraria útil se dedica a su cultivo, ocupando las praderas un lugar destacado.

Algunos cultivos forrajeros importantes practicados en praderas artificiales o pastizales son, por ejemplo, la alfalfa, los cereales que se cortan en verde, las polífitas, la veza forrajera, el nabo forrajero, la esparceta, el trébol, la remolacha forrajera, la col forrajera, etcétera.

La hierba constituye la fuente básica de forraje. En efecto, la hierba de los prados es el alimento ideal para los animales de granja, que encuentran en ella un elemento insustituible para equilibrar su dieta, siendo, además, poco costosa.

Indudablemente, la riqueza nutritiva de la hierba es variable según su estado vegetativo, es decir, la edad de la planta, y también según la especie, ya que existen especies pratenses más o menos rústicas y de mayor o menor productividad. La hierba consta fundamentalmente de hojas y tallos, estando formadas las primeras por tejidos más nutritivos y apetitosos que los segundos. La relación hojas/tallo no depende solamente del estado vegetativo, sino también de la especie que se considera, y varía dentro de límites muy amplios. Por ello, puede afirmarse que el análisis de la flora de una pradera se hace preciso para cuantificar sus posibilidades en relación a la producción animal.

En cuanto a la composición florística de las praderas, es preciso señalar que su conocimiento permite deducir conclusiones valiosas desde el punto de vista agronómico. La primera consecuencia que se deduce del análisis de la flora de una pradera es una apreciación de su calidad, es decir, de su capacidad de utilización. Para Francia, por ejemplo, se considera, por lo general, que la composición florística ideal de un buen pastizal debe aproximarse a ésta: leguminosas (20-25%), gramíneas (65-75%) y plantas diversas (5-10%). El análisis floral permite también seguir la evolución de la pradera, ya que una población vegetal compleja, como es la de los prados, evoluciona bajo la acción directa de elementos que dependen del clima y del hombre, y es preciso que el agrónomo pueda interpretar, prever y corregir.



Las especies pratenses pertenecen fundamentalmente a dos familias botánicas: las gramíneas y las leguminosas. Sin embargo, también son comunes especies representantes de otras familias.

Las *gramíneas* son plantas con el limbo de las hojas alargado y estrecho; la inflorescencia es en espiga o panícula y su sistema radicular es fasciculado y relativamente poco profundo. Dicho sistema es anual en la mayoría de los casos, es decir, que la duración de la vida de una raíz suele ser sólo de un año. Las gramíneas son especies de invierno, porque la diferen-

ciación de los órganos vegetativos y reproductores se lleva a cabo en el período de días cortos. Su crecimiento es muy rápido cuando las temperaturas son suaves, lo que, unido a su forma de enraizar, motiva un descenso de rendimiento en verano, e incluso en algunos casos la detención total del desarrollo vegetativo. El valor nutritivo de las gramíneas está estrechamente relacionado con su estado vegetativo; su contenido en celulosa, por ejemplo, varía enormemente en función de la edad de la planta.

Las principales especies de gramíneas pratenses son: el *ray-grass* inglés, el *ray-grass* italiano, el dáctilo ramoso, las festucas, el fleo o cola de topo, la poa común, los agrostis, el holco lanoso, la cola de perro, el agropiro común o grama del norte y la cola de zorra.

Las *leguminosas* están presentes en las praderas en un número muy elevado de especies y tienen una gran importancia forrajera. Son plantas con el limbo de las hojas compuesto por varios foliolos. Su sistema radicular no es tan fasciculado y se establece a mayor profundidad que el de las gramíneas. Las leguminosas forman sus inflorescencias en primavera, en época más tardía que las gramíneas. La relación hojas/tallo es, por lo general, más alta que en las gramíneas, así como también es algo superior su contenido en proteínas, que varía menos en función de la edad de la planta. Las principales especies de leguminosas pratenses son: el trébol blanco, el loto de los prados, el trébol violeta, la alfalfa, la esparceta y la lupulina.

La leguminosa pratense más importante es la alfalfa, de la que existen diversas variedades. Es una planta de tallos erguidos, muy desarrollados, con hojas provistas de tres foliolos ovalados, alargados y dotados de una punta en el ápice. Su sistema radicular es robusto y más o menos pivotante. Las flores, de color violeta generalmente, se agrupan en racimos. Los frutos tienen forma de espiral y contienen de 5 a 15 semillas.

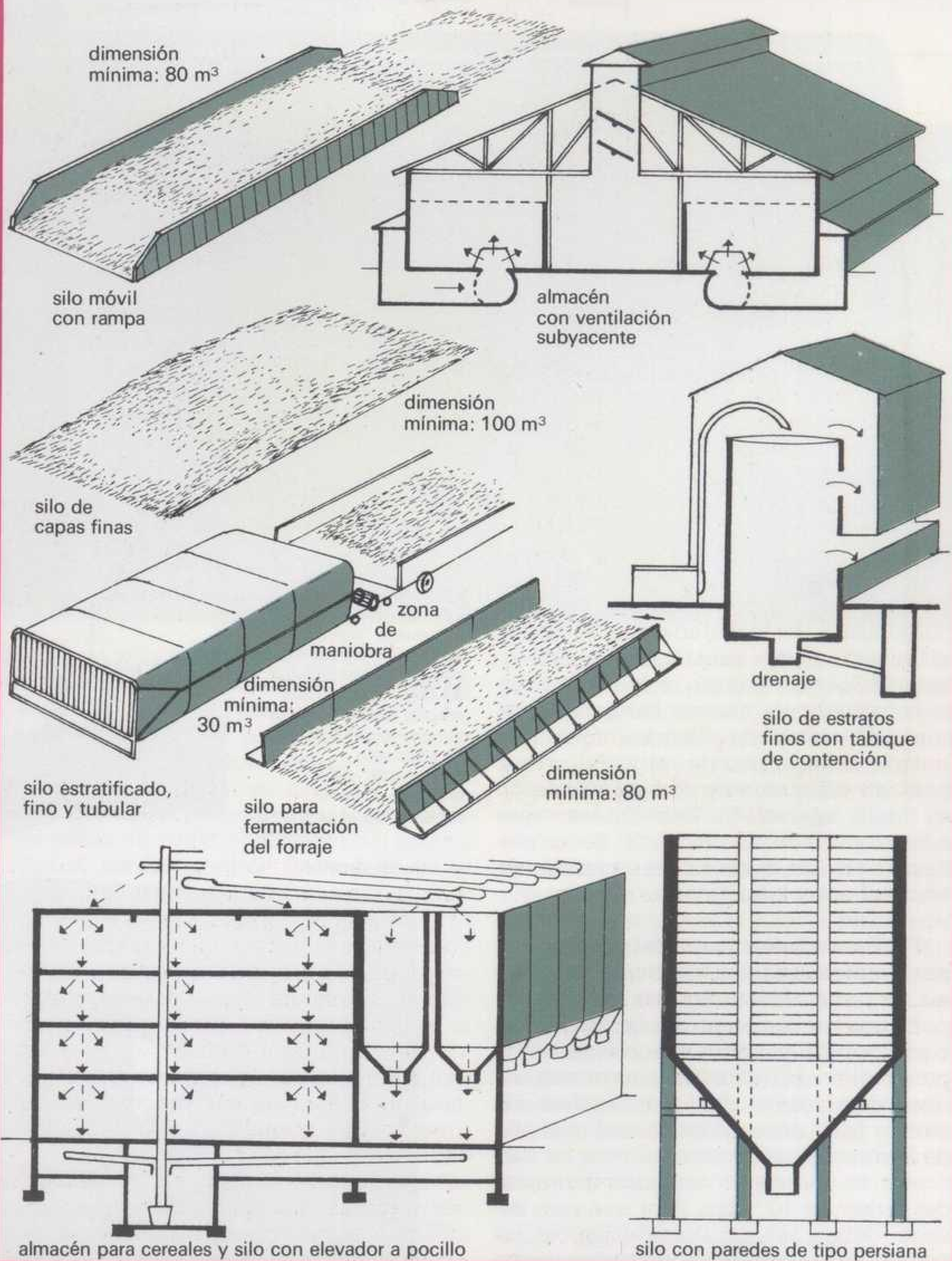
La alfalfa es una planta forrajera muy productiva, que resiste muy bien la sequía anual, aunque necesita varios riegos para que su rendimiento sea bueno y puedan realizarse 3 ó 4 cortes a lo largo del año. Prefiere los suelos saneados y calcáreos, y no le convienen, por el contrario, los húmedos y asfixiantes.

Véase **Agricultura; Plantas; Pradera; Zootecnia**

La crianza de animales exige la correspondiente producción de alimento. En torno a la granja (página anterior), aparece la diversa producción de forraje para los animales que la forman: ovejas, gallinas y otras aves de corral, cerdos y vacas. Estos animales se nutren de formas diversas: unos, preferentemente con hierbas, la más nutritiva de las cuales es la alfalfa (c); otros, de cereales, como el trigo (b) o avena (a). Si bien otras especies herbáceas podrían ser cultivadas en lugar de alfalfa, se prefiere ésta porque nitrifica los suelos empobrecidos por el cultivo anterior de cereales.



A la derecha, silo para la conservación y fermentación del heno. En los dibujos de la parte inferior se representan las estructuras de distintos tipos de silos, con diversas soluciones al problema de cómo disipar el calor originado en el proceso de fermentación. En ocasiones, el heno recogido en los campos es secado al sol. Si bien el método es económico y eficaz, degrada el valor nutritivo del heno, ya que los rayos ultravioleta descomponen la carotina contenida en la hierba. Por esto se prefiere captar la energía solar con paneles y secar el heno con aire caliente, cerrado y a la sombra.



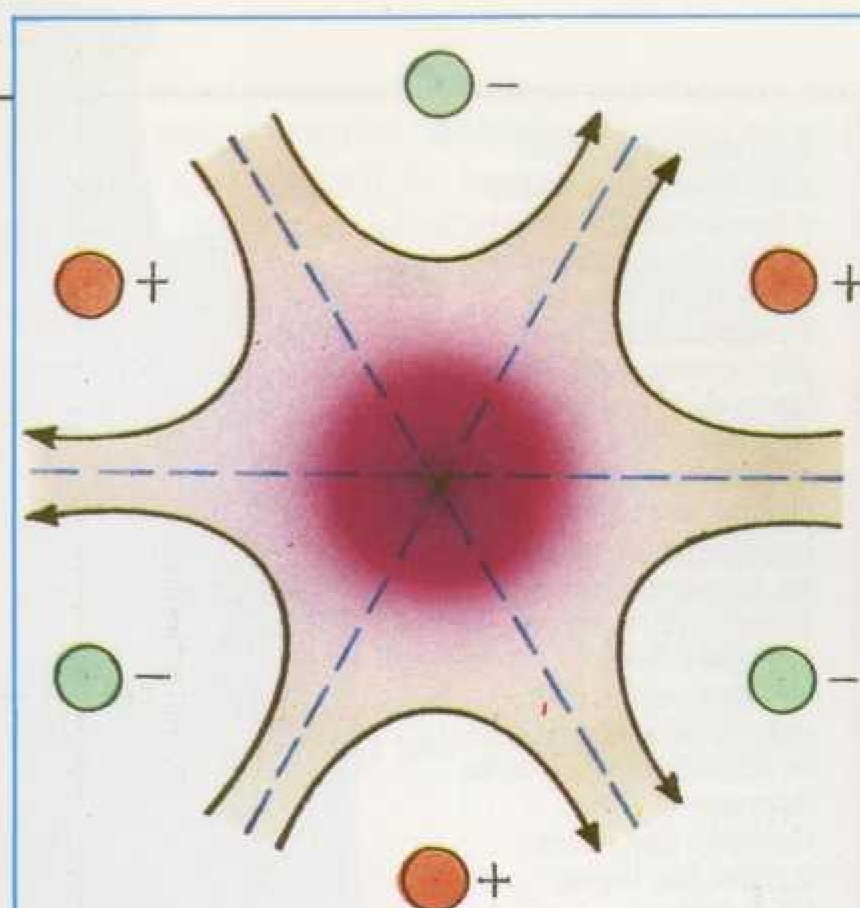
Plasma

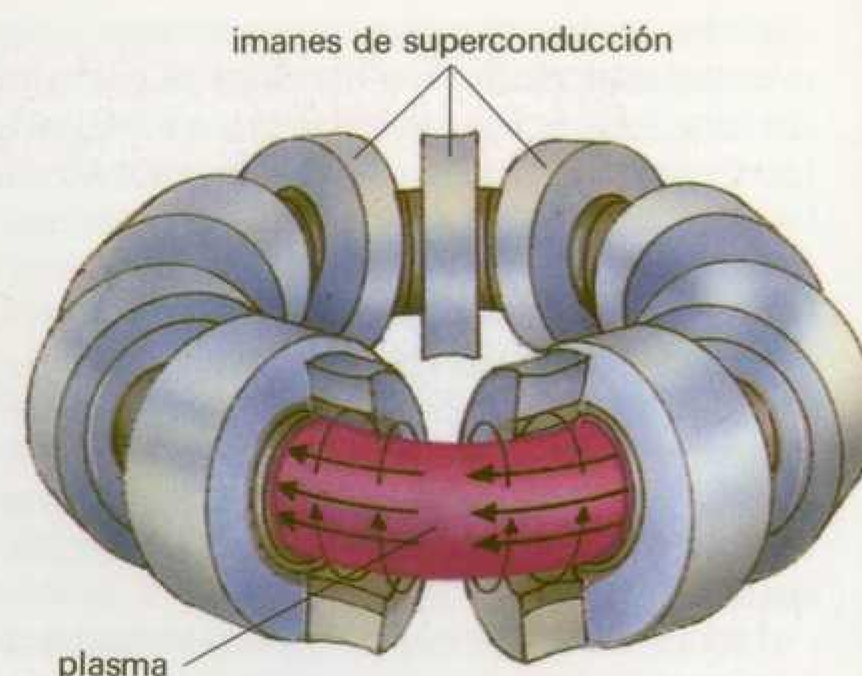
La mayor parte de la materia que compone nuestro planeta se presenta en tres estados distintos de agregación: sólido, líquido y gaseoso. Cada uno de estos estados se caracteriza por una mayor o menor cohesión de los átomos —o de las moléculas— que lo forman: en las sustancias en estado sólido, los átomos —o las moléculas— ocupan posiciones fijas; en los líquidos, los enlaces entre los átomos —o las moléculas— son irregulares y les permiten deslizar unos sobre otros, confiriendo fluidez al líquido; en los gases, los átomos —o las moléculas— no están retenidos por ningún enlace.

Recientemente los científicos han descubierto un cuarto estado de la materia al que pasa cualquier sustancia sometida a temperaturas extremadamente elevadas, que provocan la disociación de los átomos en las partículas elementales que los constituyen: este cuarto estado de la materia se conoce por el nombre de *plasma*.

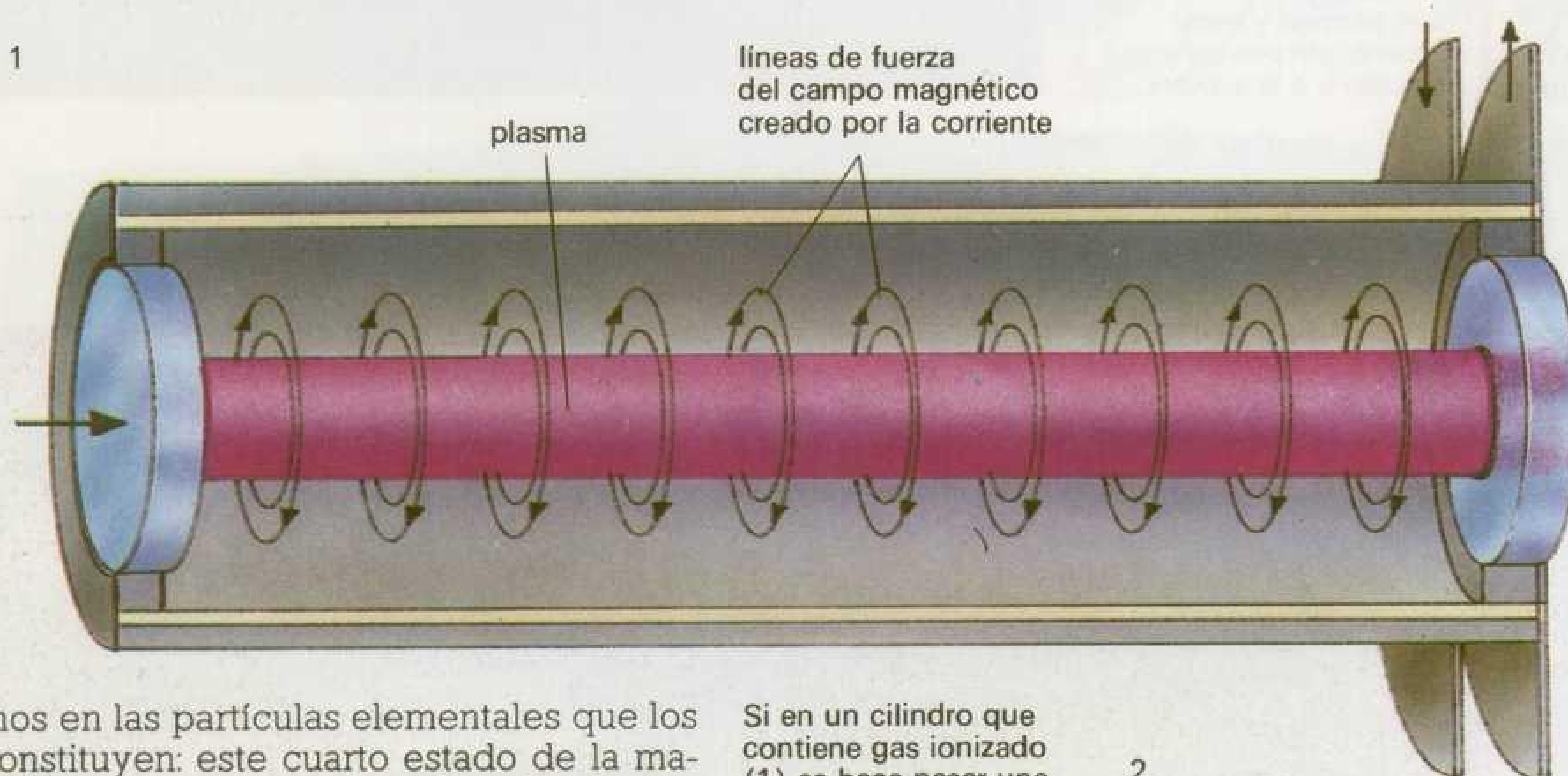
En nuestro planeta, la materia en estado de plasma se presenta muy raramente, aunque es posible observar sus efectos en las auroras boreales y en las lámparas fluorescentes. Sin embargo, en el espacio las condiciones para la formación del plasma son perfectas, por lo que una parte importantísima de la materia que compone el Universo podría encontrarse en este estado. El Sol, por ejemplo, está enteramente constituido por materia altamente disociada, en estado de plasma, al igual que sucede con el resto de las estrellas que pueblan el Universo y con gran parte de su medio interestelar. También las capas más externas de las atmósferas de los planetas se hallan, a veces, en un estado de composición plasmático.

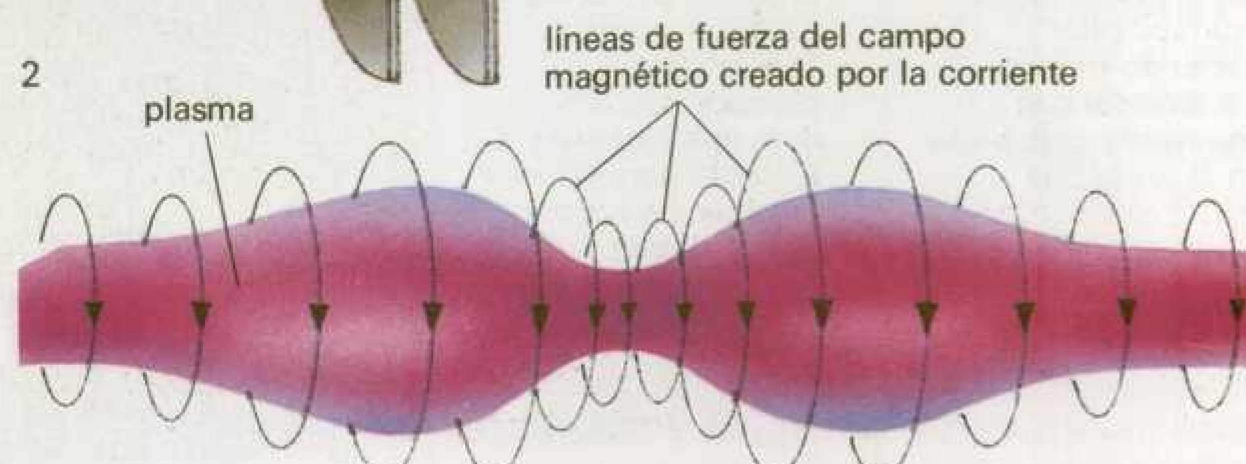
Fusión nuclear a partir del plasma El interés suscitado por el estudio del plasma se justifica tanto por ser de vital importancia en el campo de la Astrofísica, como por sus posibles aplicaciones en la producción de reacciones termonucleares controladas o de fusión nuclear. En efecto, para desencadenar una reacción de fusión nuclear es necesario que las partículas se aproximen mucho, a distancias del orden de 10^{-13} cm. Para que esto suceda, deben ser capaces de vencer las fuerzas de repulsión electrostática, lo que



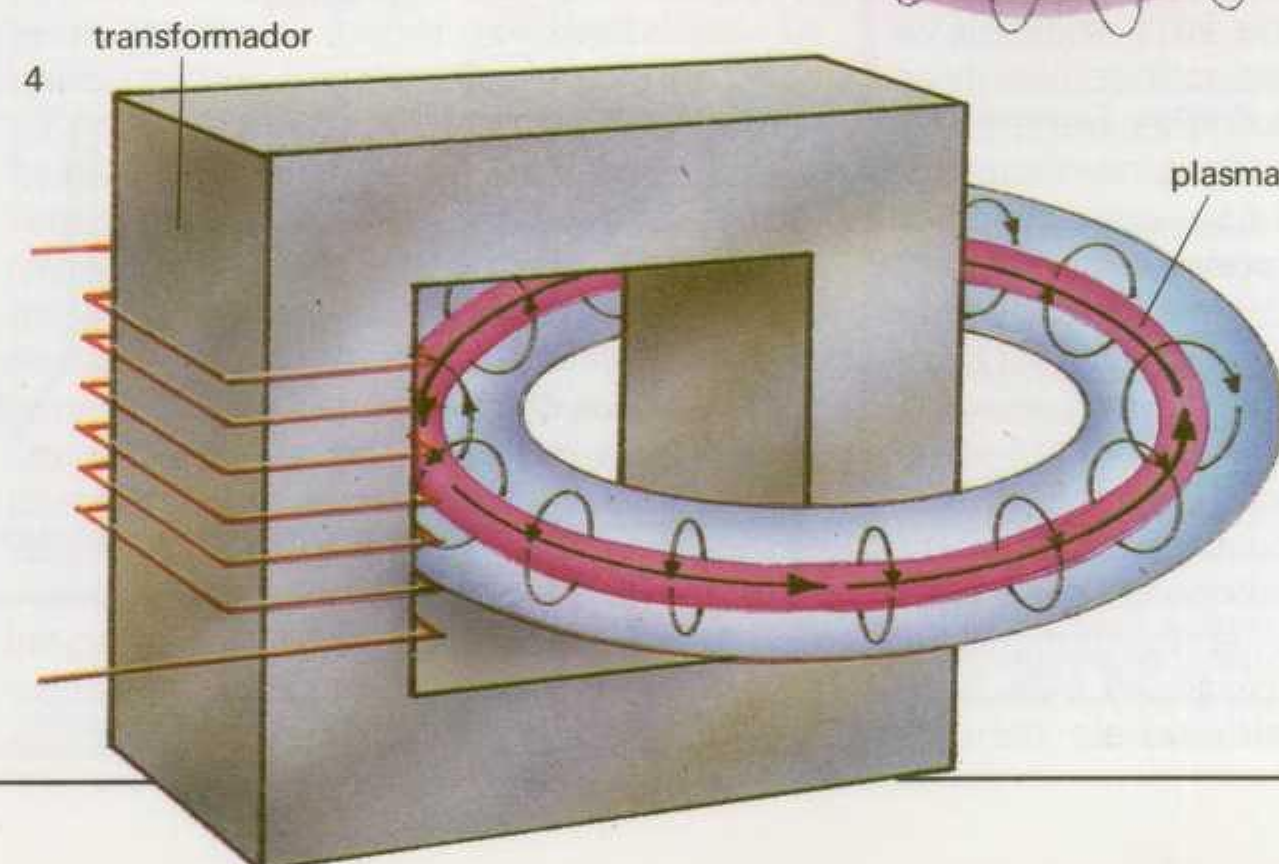


A la izquierda se muestra (en sección transversal) un contenedor experimental para plasma de 6 conductores. El contenedor que hasta ahora ha ofrecido los mejores resultados, sin embargo, es el tokamak (a la derecha). En 1978 el tokamak de Princepton (EE UU) consiguió llevar el plasma a una temperatura muy próxima a los 100 millones de grados.



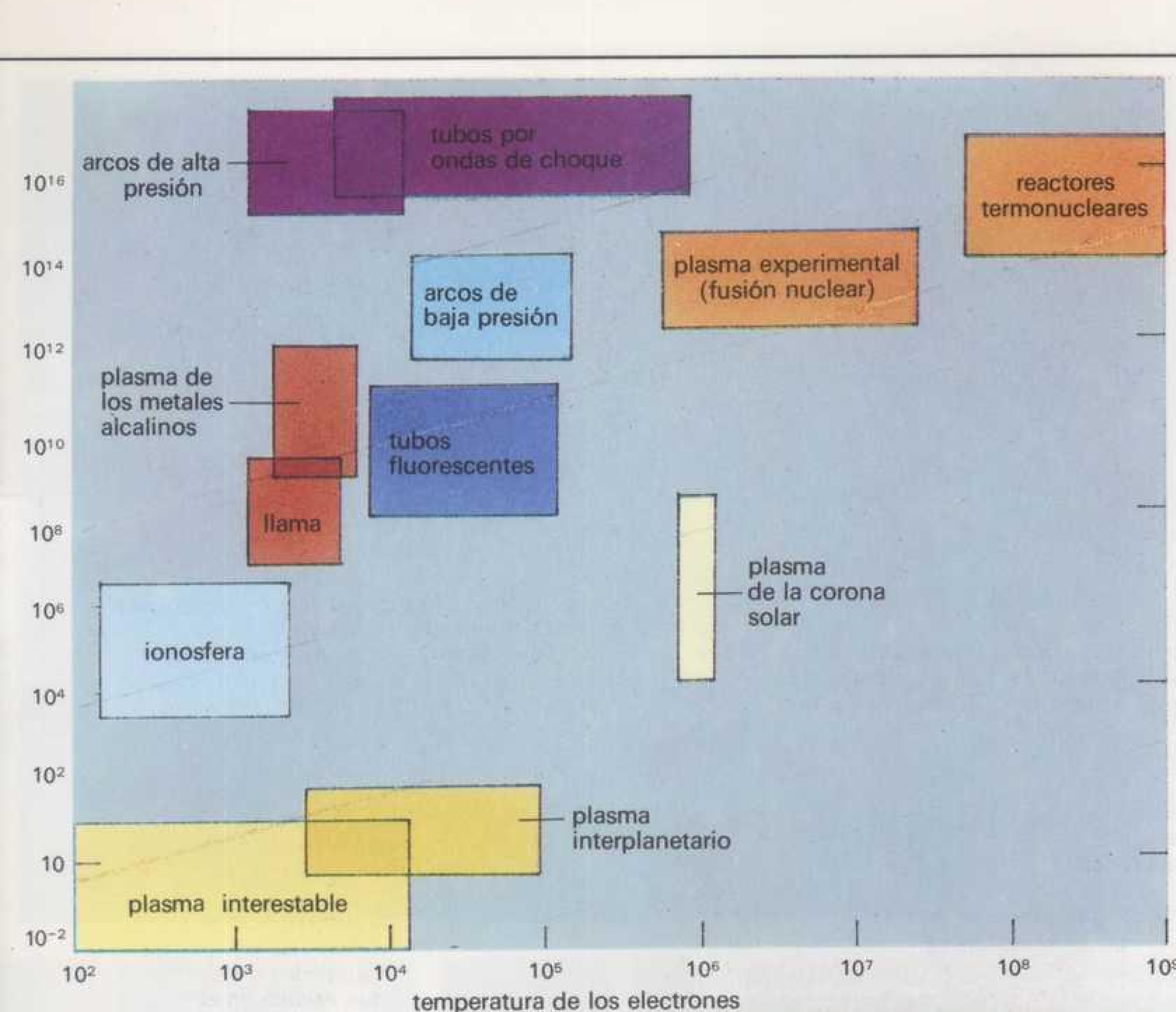


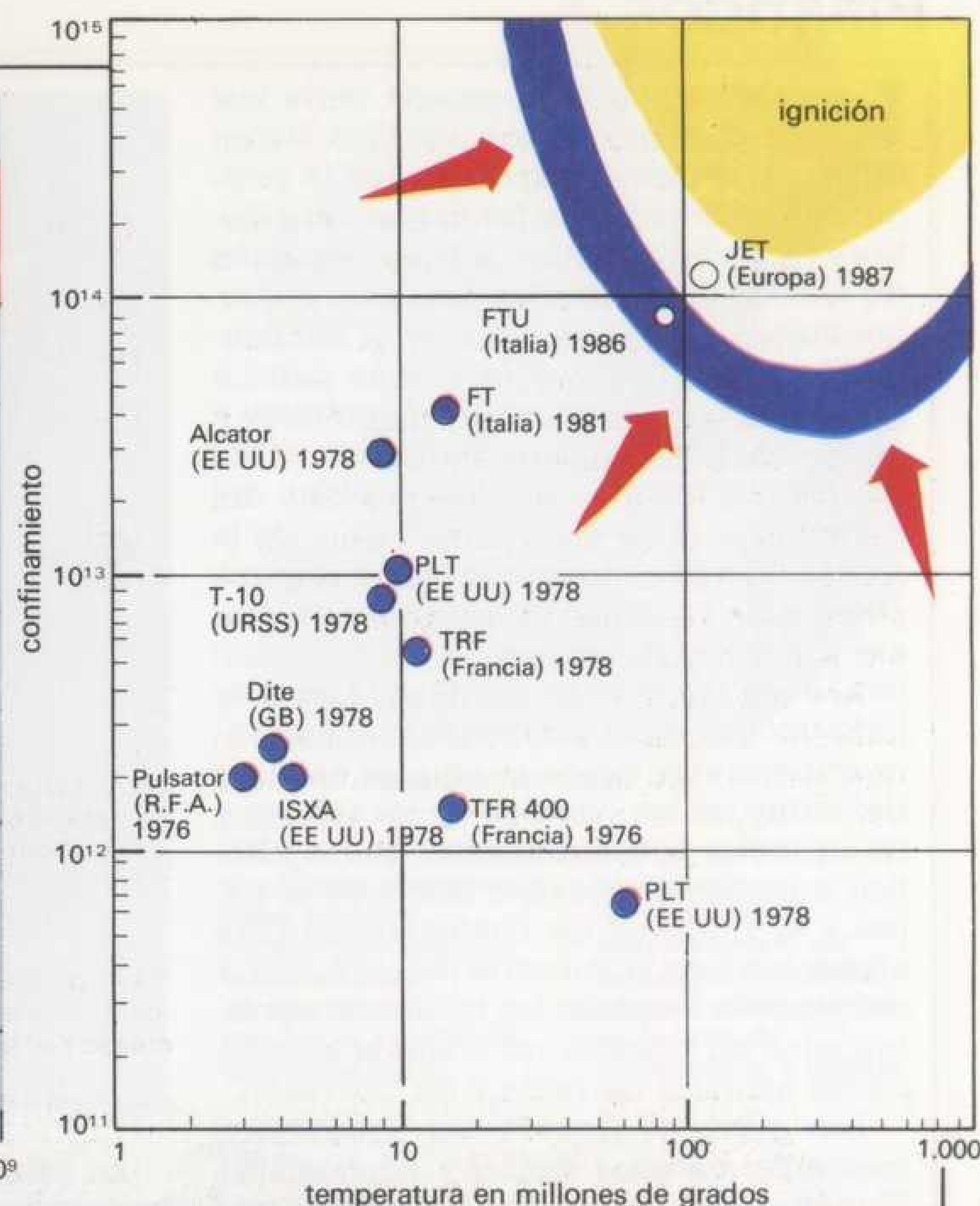




Si en un cilindro que contiene gas ionizado (1) se hace pasar una corriente eléctrica, ésta produce un campo magnético que "contiene" el plasma. Pero el plasma es extremadamente inestable y acaba curvándose o estrechándose en el centro (2), en el llamado "efecto salchicha". Se puede reducir la inestabilidad del plasma si se hace pasar a través de él un campo magnético (3). Un resultado ligeramente mejor se puede obtener imponiendo al plasma → el campo magnético creado por un transformador (4).

En la página siguiente, arriba, a la izquierda, gráfico donde se indican las principales variedades de plasma que existen en el Universo o que pueden obtenerse en el laboratorio; a la derecha, gráfico con los nombres de los tokamak experimentales actualmente utilizados en todo el mundo, destinados a obtener la fusión nuclear. En →





1981 el tokamak de Frascati alcanzó 20 millones de grados de temperatura, consiguiendo el mayor tiempo de confinamiento del plasma obtenido hasta el momento. A la derecha, foto de un tubo fluorescente en el que se puede producir plasma: haciendo pasar, a través del gas enrarecido contenido en el tubo, una descarga eléctrica de alta tensión se produce plasma. El estado plasmático se puede reproducir también en los arcos voltaicos, en los tubos para ondas de choque y en el tubo de Plucker. Este consiste en un tubo, que contiene un gas muy enrarecido, con un estrechamiento en el centro por donde pasa una corriente muy intensa, produciendo una descarga luminosa. Es utilizado para estudiar la radiación emitida por el plasma.



sólo se consigue si sus velocidades respectivas son muy elevadas. En un medio gaseoso o de plasma, las partículas libres sólo se mueven a altas velocidades cuando la temperatura del medio es muy alta, por encima de los 400 millones de grados. Este es el motivo por el que las reacciones de fusión se denominan, también, reacciones termonucleares.

Para reproducir las condiciones de plasma en el laboratorio se parte, generalmente, de un gas a presión muy baja que se somete a una temperatura muy elevada: como consecuencia, aumenta la energía cinética de las moléculas, que se ionizan al chocar entre sí. Para conseguir un buen grado de ionización, es preciso calentar el gas hasta temperaturas muy elevadas, que pueden variar desde 50.000 ó 100.000 K hasta decenas o centenares de millones de grados.

Comportamiento del plasma Debido al intercambio térmico que tiene lugar durante los choques de las partículas ionizadas con las paredes de los recipientes donde se produce el plasma y a los fenómenos de recombinación de electrones e iones, la vida media de un plasma es brevísima, del orden de una millonésima de segundo. Por tanto, para mantener la materia en estado de plasma es necesario evitar que las partículas entren en contacto con el recipiente, es decir, es imprescindible disponer de algún aislante térmico capaz de evitar el contacto del plasma con el medio exterior. Basándose en el comportamiento del plasma ante el paso de una corriente eléctrica (efecto Pich), se dedujo que se podría aislar aplicando campos magnéticos muy intensos, capaces de obligar a las partículas a describir trayectorias circulares cerradas sobre sí mismas.

De esta forma, tras sufrir numerosas modificaciones, se consiguió la puesta a punto de toda una serie de equipos experimentales que, bajo el nombre genérico de *Tokamak*, reproducía las condiciones óptimas para la obtención y manipulación del plasma y, por tanto, para la obtención de la fusión termonuclear inducida.

El mayor tokamak que existe se ha proyectado para obtener en el plasma corrientes eléctricas con intensidades comprendidas entre $2{,}5 \times 10^5$ y 3×10^5 A (amperios), con un campo magnetizante longitudinal (para la estabilización del plasma) de una intensidad de 4×10^4 Oe (oersted). El plasma tiene importantes aplicaciones en la producción de energía eléctrica (transformación inmediata del calor en electricidad) y en la propulsión espacial, aún en estado experimental. Otra aplicación es el revestimiento a fuego con plasma: en una pistola de aspersión, un gas inerte (por lo general nitrógeno) es transformado en plasma a 16.000 °C al pasar por un arco eléctrico. El material de revestimiento, reducido a polvo, se introduce debidamente preparado en el plasma, que lo proyecta sobre las piezas que se van a revestir.

Véase **Atomo; Fusión nuclear; Gas; Ion; Magnetohidrodinámica; Tokamak**

Plásticos

La palabra plástico procede de la voz griega *plastikós*, que significa "capaz de ser moldeado" y que destaca la principal característica de las sustancias plásticas: su deformabilidad ante la aplicación de fuerzas relativamente débiles y a temperaturas no muy alejadas de la ambiental. El plástico ha reemplazado, en parte, a la madera en la fabricación de muebles y en la construcción de edificios; se utiliza con mucha frecuencia como sustituto del cuero, en la industria del calzado, y de la lana, en la textil; ha reemplazado a la goma como aislante en las instalaciones eléctricas y al metal en muchas piezas de los automóviles; también se utiliza para fabricar todo tipo de electrodomésticos. El plástico transparente rígido se emplea en lugar del vidrio en los cristales de los relojes y en las lentes ópticas, mientras que el plástico transparente flexible sustituye al papel y al vidrio en los contenedores para alimentos y en la industria farmacéutica y del juguete. También los teléfonos son fabricados en plástico, así como la carcasa de los aparatos de radio y de televisión.

Los plásticos pueden ser producidos mediante métodos fáciles y económicos. El método de conformación más utilizado es el moldeado en caliente, que permite la fabricación en serie de piezas con gran variedad de formas, colores y consistencias. Normalmente los plásticos son ligeros y resisten bien la corrosión ambiental; son buenos aislantes eléctricos y térmicos. Puesto que las materias plásticas tienen propiedades específicas muy diferentes, presentan también una amplia gama de aplicaciones y resultan, en comparación, más baratos que otros materiales.

La revolución sintética Los plásticos están constituidos por moléculas orgánicas de elevado peso molecular o *polímeros*, y según el procedimiento de elaboración se pueden clasificar en: naturales, semisintéticos y sintéticos.

Los *plásticos naturales* son materias animales o vegetales (ámbar, celulosa, cera, caucho) utilizadas sin profundas modificaciones y cuya elaboración consiste en la extracción y posterior purificación.

Los primeros plásticos fabricados industrialmente eran *plásticos semisintéticos*, obtenidos a partir de productos naturales sometidos a tratamientos adecuados. En 1862, el químico inglés A. Parkes preparó un material plástico, denominado *parkesina* (nitrocelulosa mezclada con aceite de ricino, un poco de alcanfor y materia colorante), que se podía moldear fácilmente dándole cualquier forma. Sin embargo, su fabricación a gran escala resultaba difícil, por lo que su explotación industrial no tuvo éxito. En 1870, el químico americano J. W. Hyatt preparó el primer plástico de éxito comercial, el *celuloide*, elaborado como la parkesina pero utilizando alcanfor en lugar de aceite de ricino. Este nuevo material se empleó en una gran variedad de productos (gafas, bolas de billar, mangos de cuchillos, películas fotográficas, etc.).



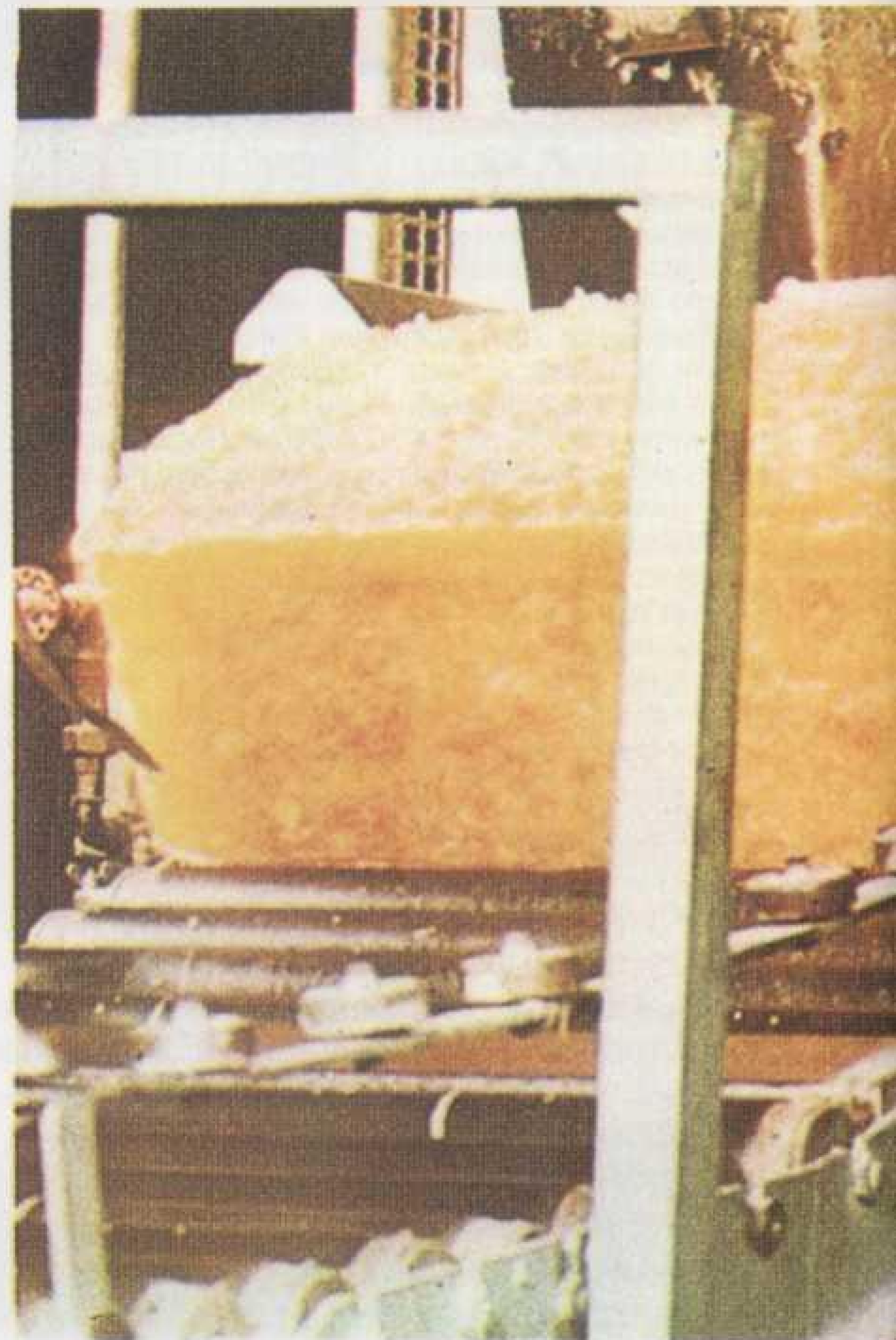
La principal desventaja que presentaban estos primeros plásticos semisintéticos estribaba en que eran altamente inflamables.

Los *plásticos sintéticos* se obtienen artificialmente a partir de moléculas pequeñas (monómeros) que se van agregando mediante un proceso de *polimerización*. El primer plástico sintético fue la baquelita.

La *baquelita*, obtenida en 1909 por Baekeland, fue el primero de los plásticos termoestables (que se endurecen por calentamiento y no se pueden volver a fundir sin descomponerse). Se obtiene por calentamiento del fenol, en presencia de formol y un catalizador. Muy pronto la baquelita demostró su importancia y, a pesar de que se adapta a una amplia gama de aplicaciones, se ha revelado como particularmente interesante en la industria automovilística y eléctrica.

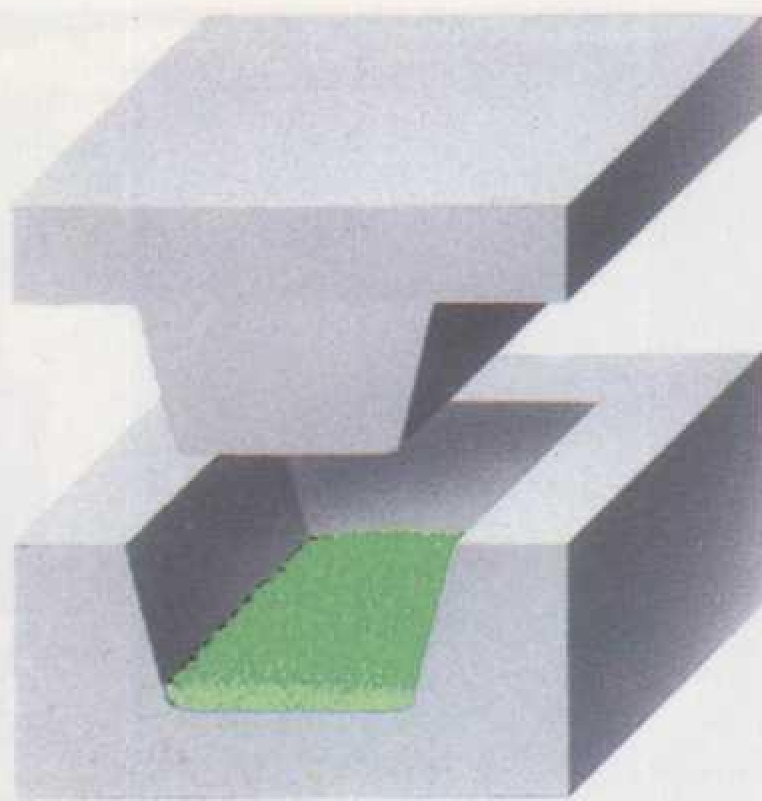
La química de los plásticos Todos los plásticos tienen una estructura química semejante. Son compuestos de cadena larga, que contienen pequeños grupos periódicos de átomos unidos entre sí. La mayor parte de las sustancias encontradas en estado natural son compuestos de moléculas cortas que contienen átomos en número relativamente limitado. Estos grupos atómicos que se repiten en la macromolécula del plástico son llamados *monómeros* y la cadena entera de estas formaciones se denomina *polímero* ("muchas unidades"). Un plástico está compuesto principalmente de resinas y agentes de adición (plastificantes, estabilizantes, colorantes y otros aditivos) que confieren al material determinadas propiedades (dureza, plasticidad, etcétera).

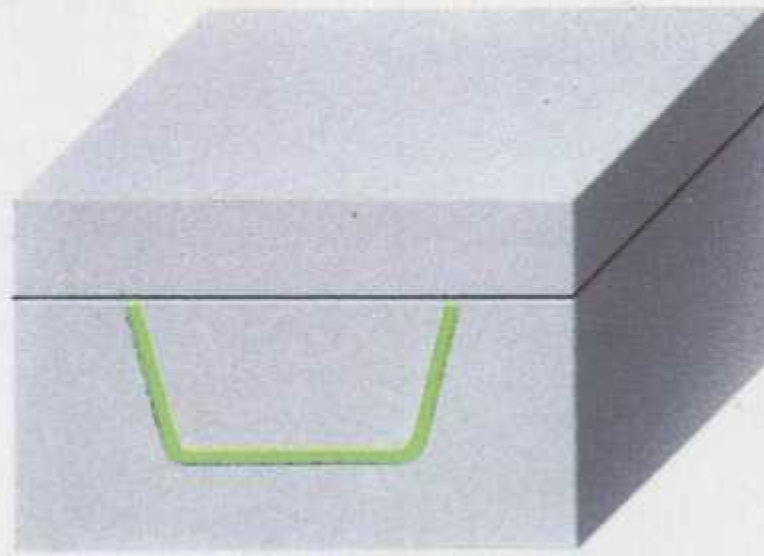
Las resinas pueden ser naturales, como las derivadas de la celulosa, la caseína o las proteínas de la leche, o sintéticas, y están constituidas por cadenas largas de moléculas o polímeros.

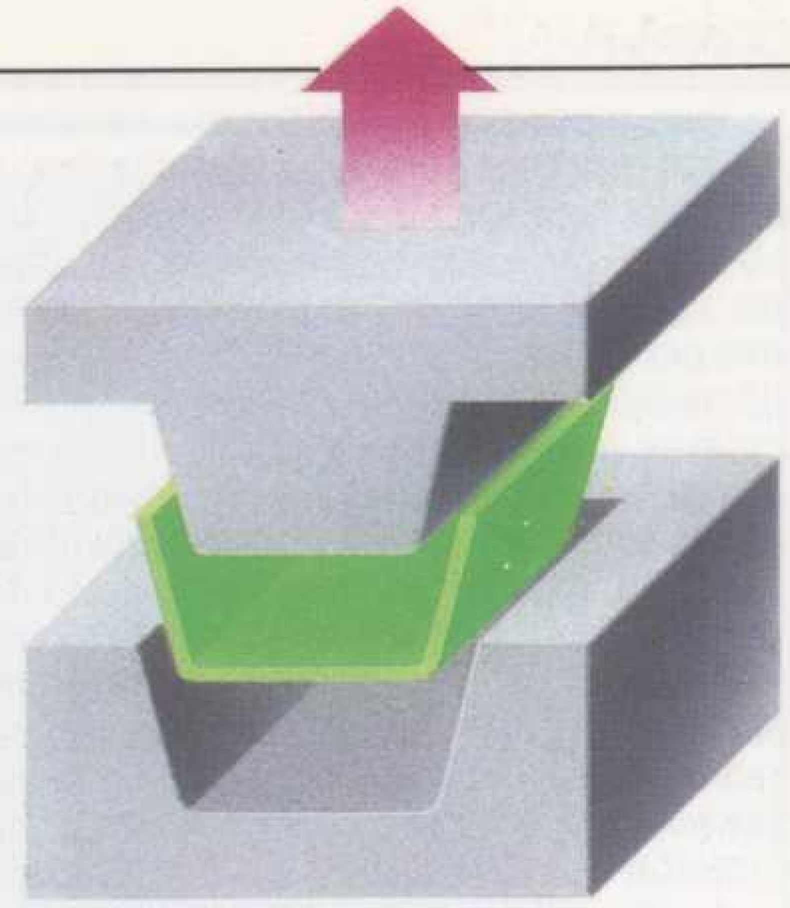


Arriba, una planta para la producción de cloruro de polivinilo. Este polímero es obtenido por medio de una reacción de poliadicción del monómero cloruro de vinilo. En los reactores, la polimerización se lleva a cabo en suspensión acuosa, de manera que se pueda tener un óptimo control de los parámetros: temperatura y masa de los reactivos. El polímero se presenta bajo la forma de pequeñísimas esferas que se almacenan en recipientes. Sobre estas líneas, un bloque de goma sintética de SBR. Dicha sustancia es un copolímero del butadieno (75%) y estireno (25%). Es la goma más difundida y utilizada en el mundo: representa de hecho el 65% de la producción de la goma sintética y el 30 % de toda la goma consumida tanto natural como sintética.

MOLDEADO DE RESINAS TERMOESTABLES


relleno del molde

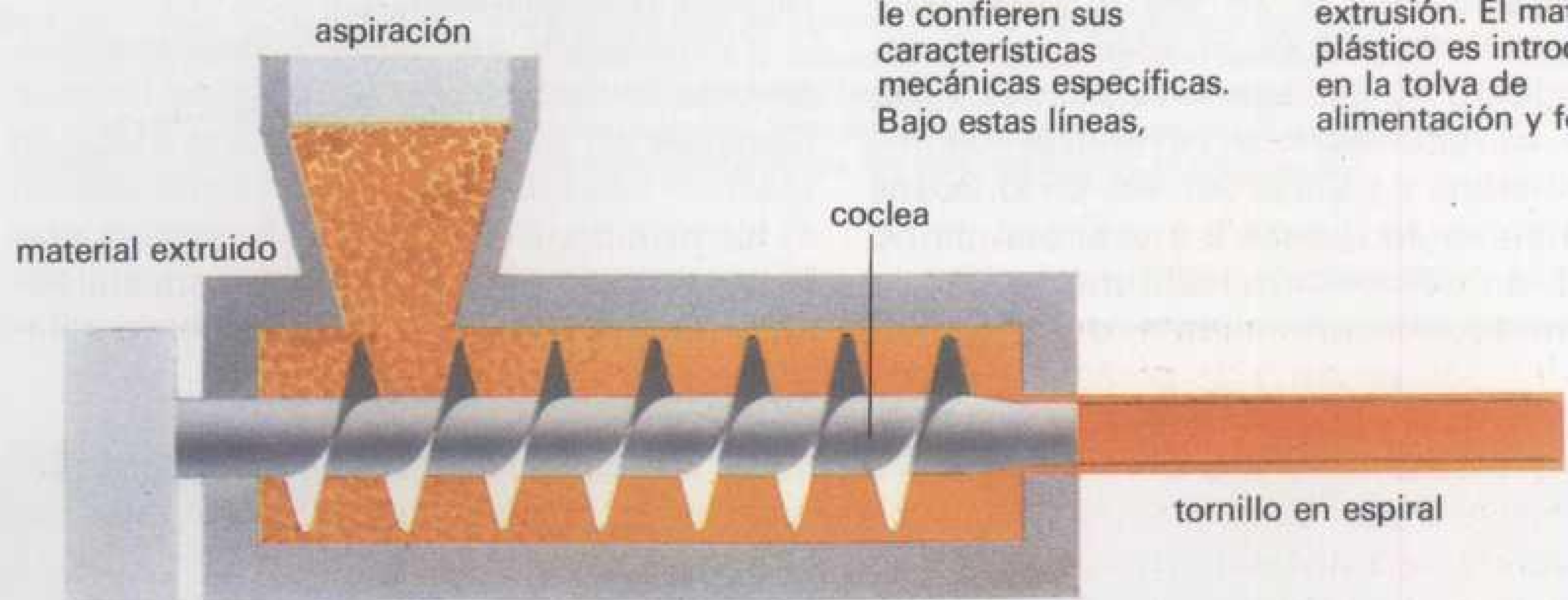

calentamiento

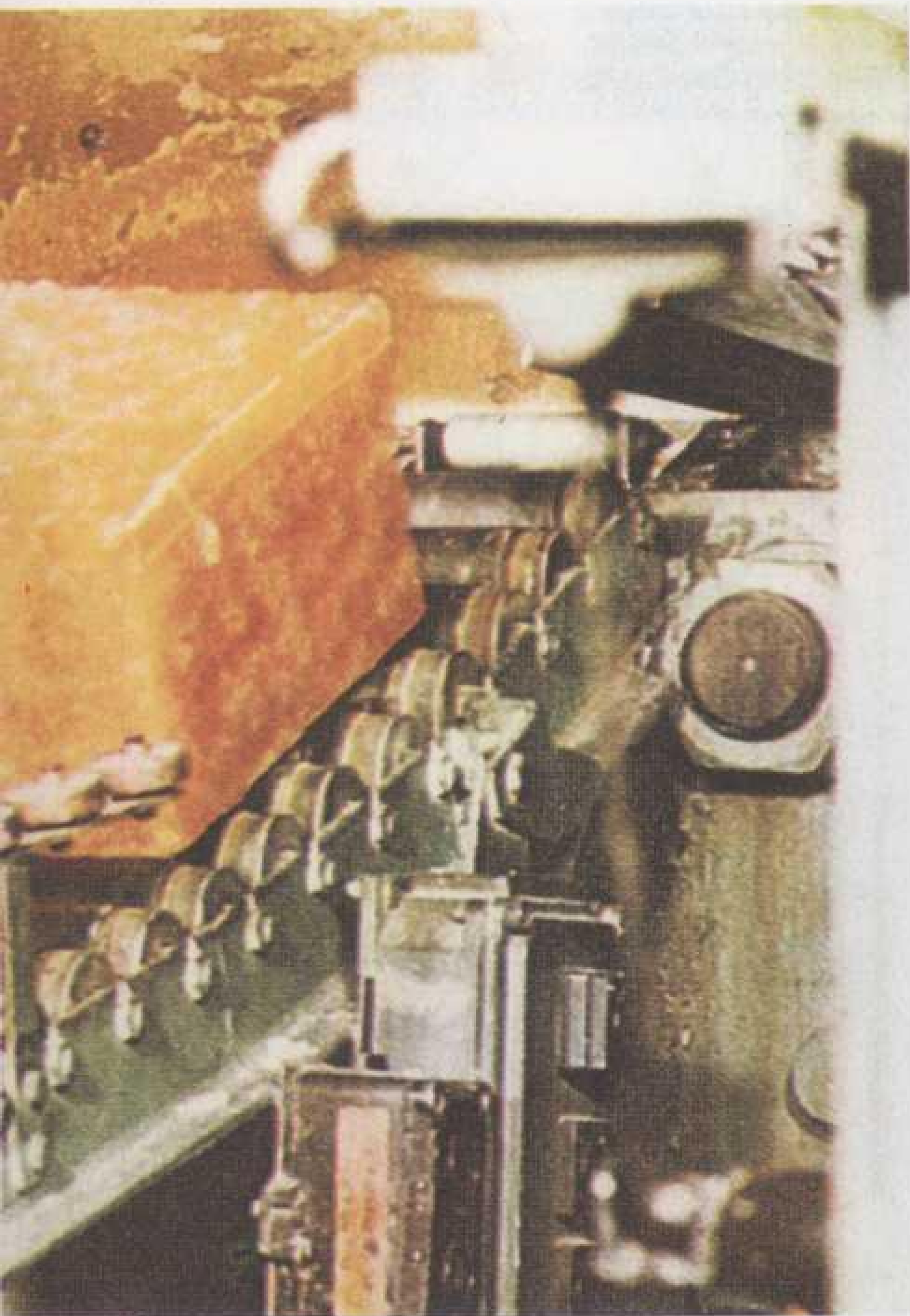

apertura del molde

En la secuencia de arriba se representa la producción de un objeto de resina termoestable mediante el método de compresión.

A la izquierda, el molde se rellena con el polímero granulado. En la fase sucesiva se cierra el molde y se calienta todo el conjunto. En esta fase → el polímero experimenta todas aquellas transformaciones que le confieren sus características mecánicas específicas. Bajo estas líneas, elaboración de un producto manufacturado por extrusión. El material plástico es introducido en la tolva de alimentación y forzado, ↓ mediante un tornillo en espiral, a pasar a través de una abertura moldeada. Más abajo, proceso de formación mediante colada. En el molde se echa el polímero que, mediante calentamiento, sufre las transformaciones que le confieren las características y la consistencia deseadas. Finalmente, a la izquierda de estas líneas, proceso de moldeado de resina termoplástica: la lámina de plástico se adhiere, mediante aspiración, a las paredes del molde, previamente calentadas.

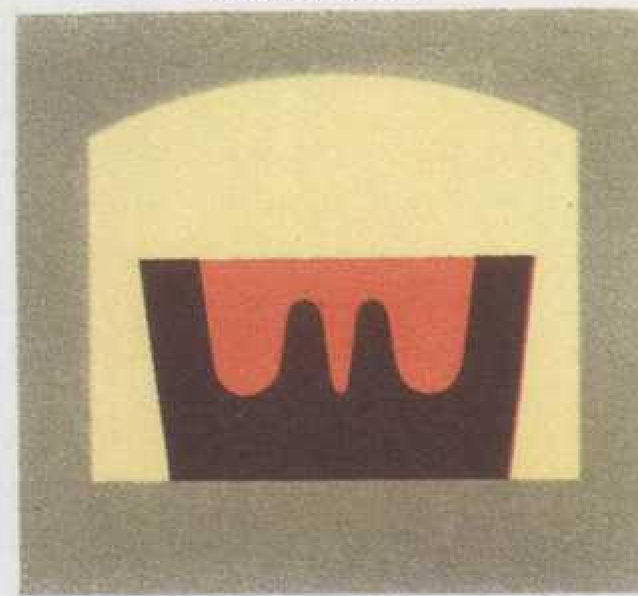
MOLDEADO POR EXTRUSION





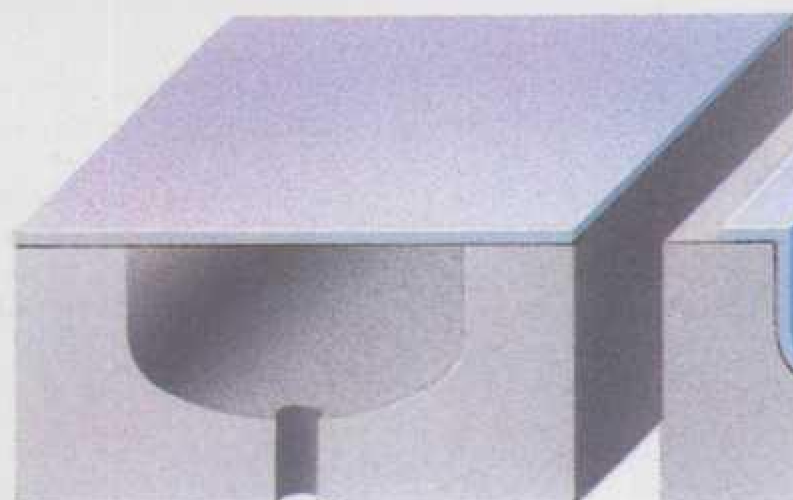
MOLDEADO MEDIANTE COLADA

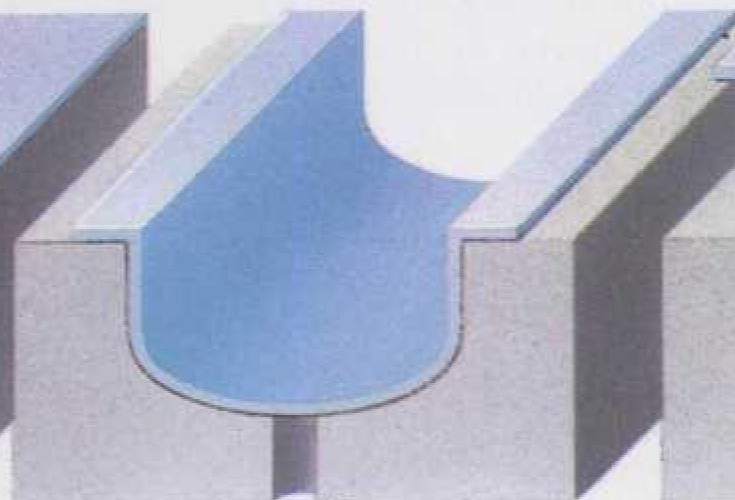


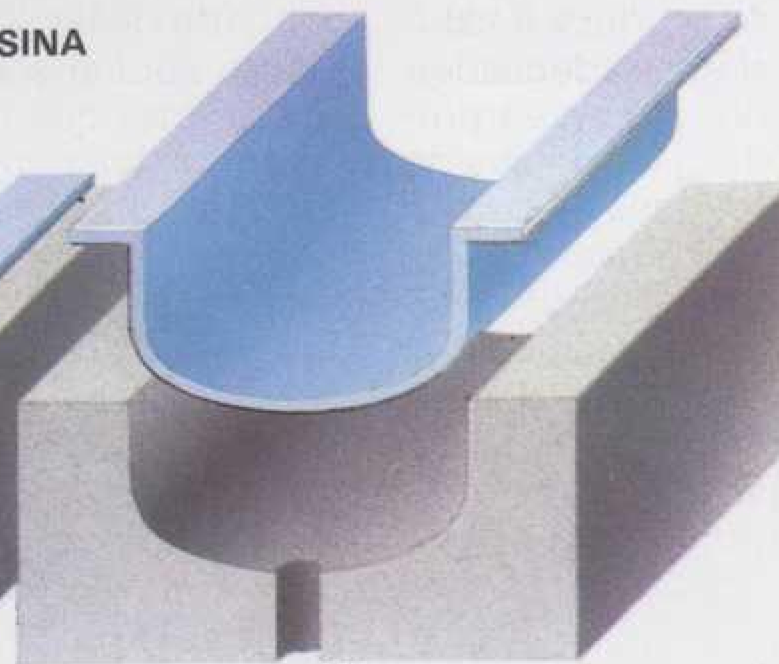


pieza conformada

MOLDEADO DE UNA RESINA TERMOPLASTICA


aspiración


formación


extracción

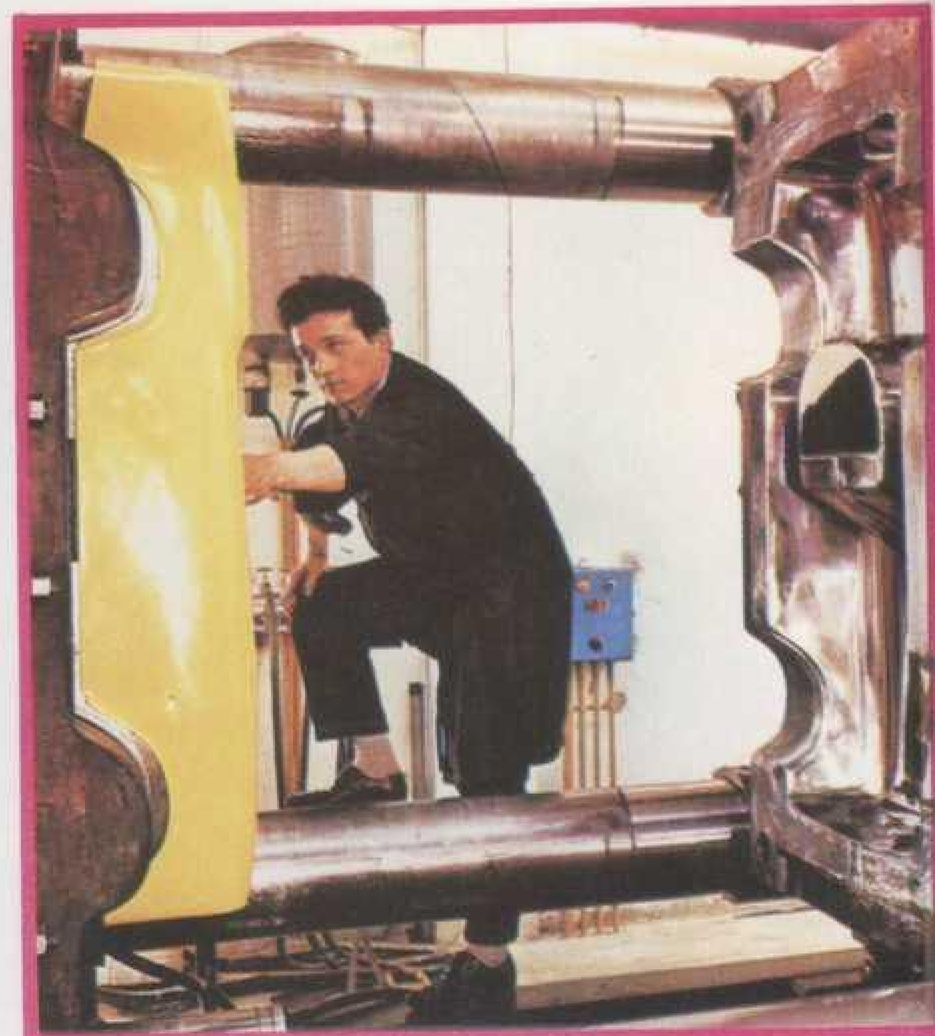
Para aumentar la resistencia mecánica de los plásticos se añaden reforzantes: se usa con frecuencia la fibra de vidrio por su alta resistencia y su bajo costo. Se puede agregar también compuestos orgánicos para aumentar su flexibilidad: los plastificantes actúan como lubrificantes moleculares, haciendo que el material sea más suave y confiriéndole mayor plasticidad. Generalmente se adicionan estabilizadores para neutralizar cualquier efecto de deterioro que pudiera producirse durante el proceso de fabricación o debido a causas ambientales, como la exposición a la radiación ultravioleta. Finalmente, la incorporación de pigmentos determina la coloración.

A diferencia de los plásticos termoestables (infusibles), que tras ser calentados no recuperan su estado inicial, las sustancias termoplásticas (como el cloruro de polivinilo) se caracterizan por poseer una gran plasticidad si se eleva adecuadamente la temperatura. En este caso el calentamiento no da lugar a reacciones químicas. El fenómeno es reversible con el enfriamiento y puede ser repetido tantas veces como se quiera, a condición de no alterar la composición macromolecular.

Procesos de conformación Existen diversas técnicas de conformación o transformación de los plásticos.

El moldeado por inyección es probablemente uno de los métodos más difundidos. Se utiliza principalmente para resinas termoplásticas, aunque también puede aplicarse a los plásticos termoestables. La materia plástica, en forma de polvo o de pequeños gránulos, es introducida en un cilindro calentado exteriormente y empujada por un émbolo hacia el molde, que se refrigera si la sustancia es termoplástica, o se calienta si es termoestable. El molde se abre automáticamente cuando el plástico está lo suficientemente frío, y puede extraerse la pieza. En el moldeado por compresión se comprime el plástico entre las dos mitades de un molde (previamente calentado) cada una de las cuales da forma a una cara del artículo. Se emplea principalmente para la elaboración de materiales termoestables.

El moldeado mediante soplado se utiliza para la fabricación de objetos huecos. Consiste en insuflar aire en una masa de plástico fundida que ha sido colocada en el interior de un molde frío. A medida que el plástico se expande, toma la forma del



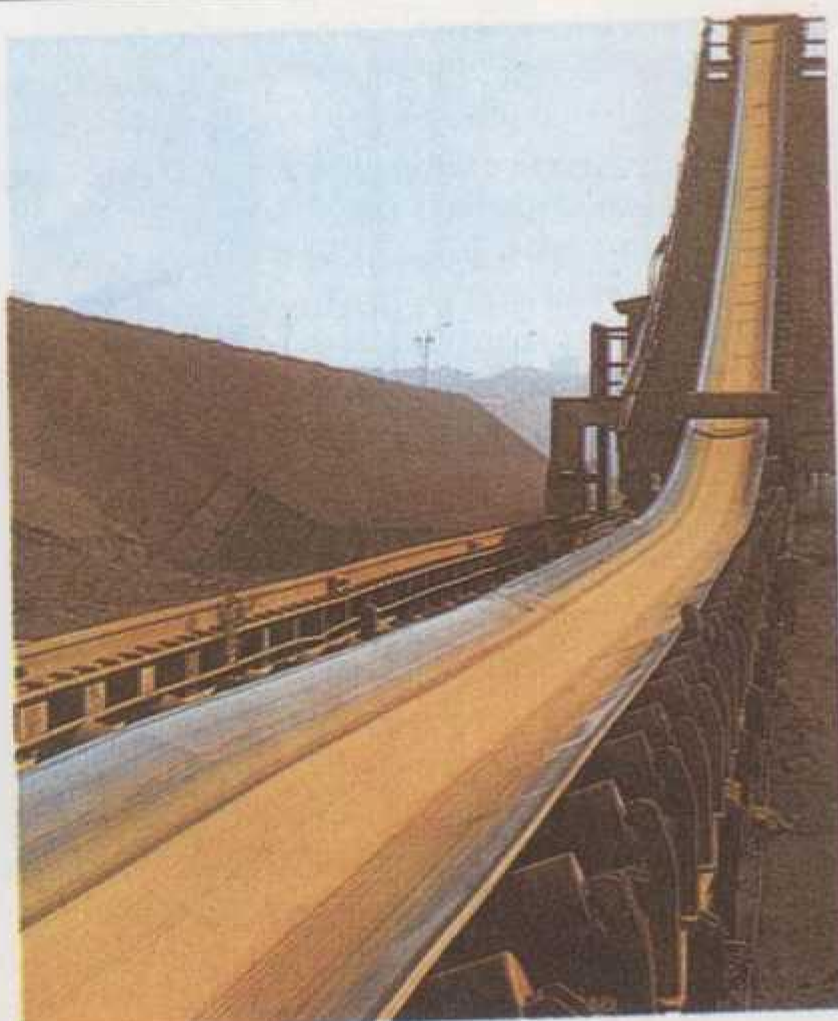
En esta página, dos fases de elaboración del material plástico Moplen. Arriba, extracción del molde de la pieza conformada y, abajo, varias piezas terminadas. En la página siguiente, abajo, fabricación de una red en material plástico. Se puede obtener un gran número de formas con sólo variar las matrices.

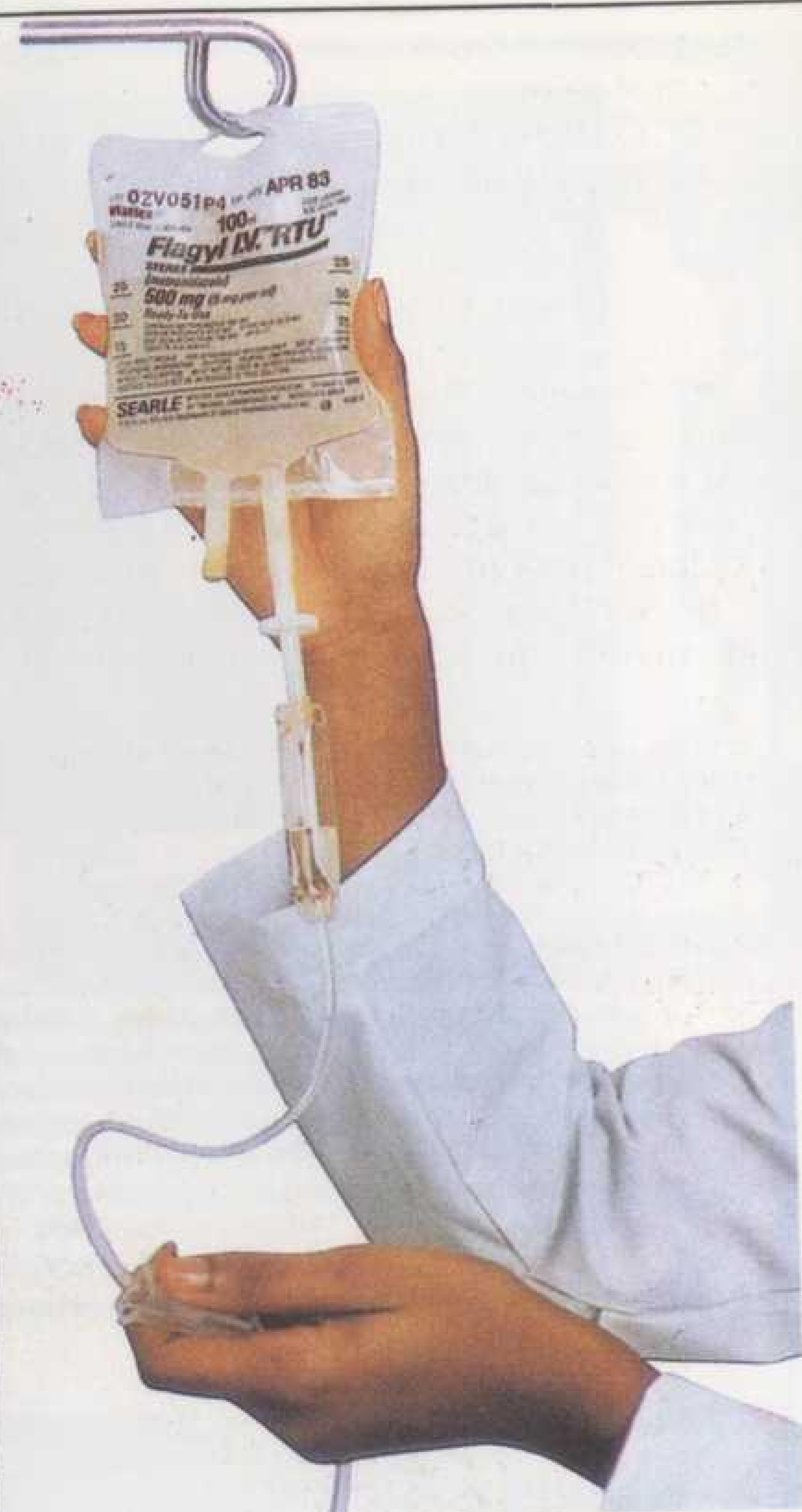




Los polímeros plásticos se pueden subdividir en dos grandes categorías: termoplásticos y termoestables. En los primeros, las cadenas de los polímeros no se unen entre sí y, por tanto, permanecen siempre solubles como indica su nombre. Se ablandan con el calor. En los plásticos termoestables el proceso de polimerización une entre sí varias cadenas de polímeros que toman una configuración tridimensional estable. Su propiedad fundamental es que se endurecen a medida que va aumentando la temperatura y quedan infusibles. A la izquierda se puede ver una botella en material termoplástico y una taza en material termoestable. A la derecha se puede observar el diferente comportamiento de los dos materiales al calentarse.









molde. Para conformar artículos tubiformes se emplea la extrusión, proceso en el cual el plástico fundido es extrusionado con un flujo continuo a través de una matriz. Los productos que salen de forma ininterrumpida se enfrían al aire, con agua, entre rodillos de refrigeración o por contacto con alguna superficie metálica enfriada, obteniéndose así la forma definitiva exacta.

El laminado consiste en recubrir con plástico una lámina y prensar varias láminas recubiertas juntas. Se obtiene así materiales resistentes y con gran variedad de espesores. El laminado por calandra consiste en hacer pasar la materia termoplástica, previamente fluidificada mediante calor, por una serie de cilindros recalentados, cuya separación da el espesor a la lámina flexible obtenida.

Las coladas, obtenidas vertiendo el plástico en un molde, permite la obtención de piezas de tamaños muy variados.

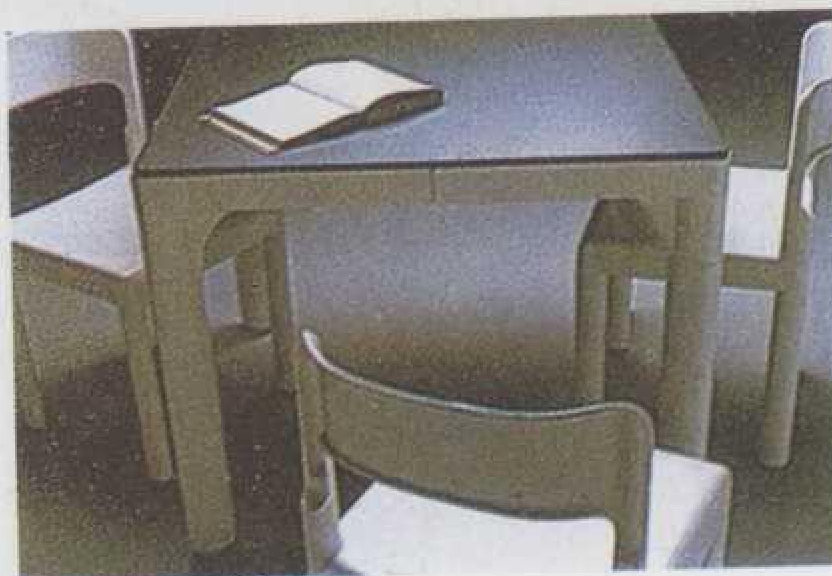
Principales materiales plásticos A continuación se citan algunos de los grupos de materiales plásticos más comunes:

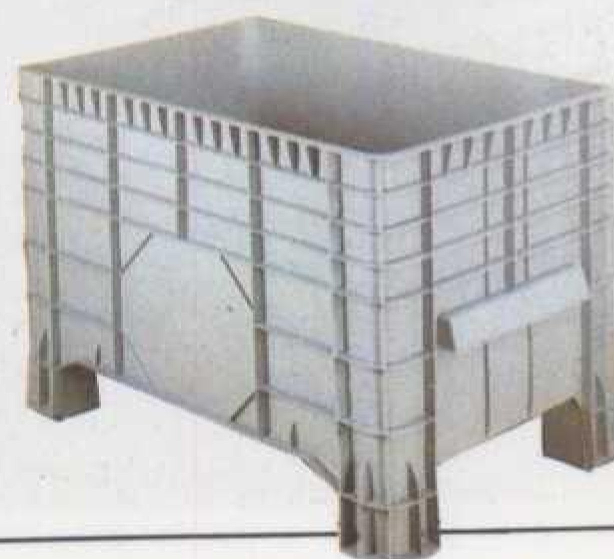
- *Resinas epoxídicas.* Estas resinas producen adhesivos fuertes que, potencialmente, se pueden utilizar para unir dos superficies de naturaleza diversa. También es considerable su resistencia al calor y sus buenas propiedades aislantes. Son utilizadas también en la elaboración de barnices, esmaltes y sustancias elásticas.
- *Melamina, urea y resina fenólica.* El principal uso que se hace de estos materiales es como resinas adhesivas para láminas, maderas contrachapadas, materiales aislantes y plásticos reforzados. Son también utilizados en la fabricación de servicios de mesa en plástico de alta calidad y en otros muchos objetos caseros.
- *Poliésteres.* Se emplean principalmente para la obtención de fibras sintéticas, utilizadas en la fabricación de muchos tipos de tejidos. También se usan en la construcción de cascos para las embarcaciones y en la fabricación de cañas de pescar, de carrocerías para los automóvi-











les y de numerosos aparatos domésticos e industriales.

- *Siliconas.* Estas sustancias son a menudo empleadas para dar un acabado resistente y brillante a los muebles, a los suelos y a diversos objetos domésticos. Los impermeables son tratados con silicona para hacerlos hidrófugos.
- *Uretanos.* Flexibles, sólidos y resistentes a los agentes químicos, los uretanos son utilizados en la fabricación de juguetes, botellas de plástico, recipientes de cocina, y para revestimientos protectores.
- *Acrílicos.* Los acrílicos, resistentes a los agentes químicos y atmosféricos, tienen su más importante aplicación en la industria textil. Se emplean en la elaboración de fibras y barnices y en la fabricación de lámparas, lentes ópticas, y en otros muchos objetos.
- *Nailon.* El nailon, la primera fibra sintética producida, sigue siendo el material plástico más importante en la industria textil. Se utiliza también como material para engranajes, soportes, dispositivos y aplicaciones eléctricas.
- *Cloruro de polivinilo:* Comúnmente conocido como PVC, este plástico sintético tiene multitud de aplicaciones y podemos encontrarlo en las cortinas de la ducha, en los materiales de una mesa, en las imitaciones de cuero, en los discos fonográficos, en los aislantes eléctricos y en los suelos.
- *Polietileno.* Las bolsas de plástico, tan utilizadas en el mundo actual, se obtienen de este material. Las botellas de plástico son otra aplicación muy difundida de este plástico ligero que proporciona al tacto una sensación similar a la cera.

Aunque la popularidad y aceptación del plástico son enormes, su utilización conlleva también algunos inconvenientes. Hay que destacar, especialmente, el grave problema de la eliminación de los residuos. Su combustión no parece ser una solución adecuada, debido a que los plásticos son difíciles de quemar y producen humos nocivos. Una solución posible, que todavía está en estudio, lleva consigo la realización de plásticos que se puedan descomponer lentamente por la acción de la luz solar.

Véase **Cloruro de polivinilo; Elastómeros; Etileno y polietileno; Petroquímica; Polímeros; Polímeros fluorados**

En estas dos páginas vemos varios y muy diferentes objetos realizados con materias plásticas, lo que prueba la notable versatilidad de aplicaciones que presentan. En la página anterior, a la izquierda, válvula para tuberías. En la columna central, algunos objetos de goma sintética perteneciente al grupo de las resinas termoplásticas y termoestables: cinta transportadora, neumáticos y botas impermeables.

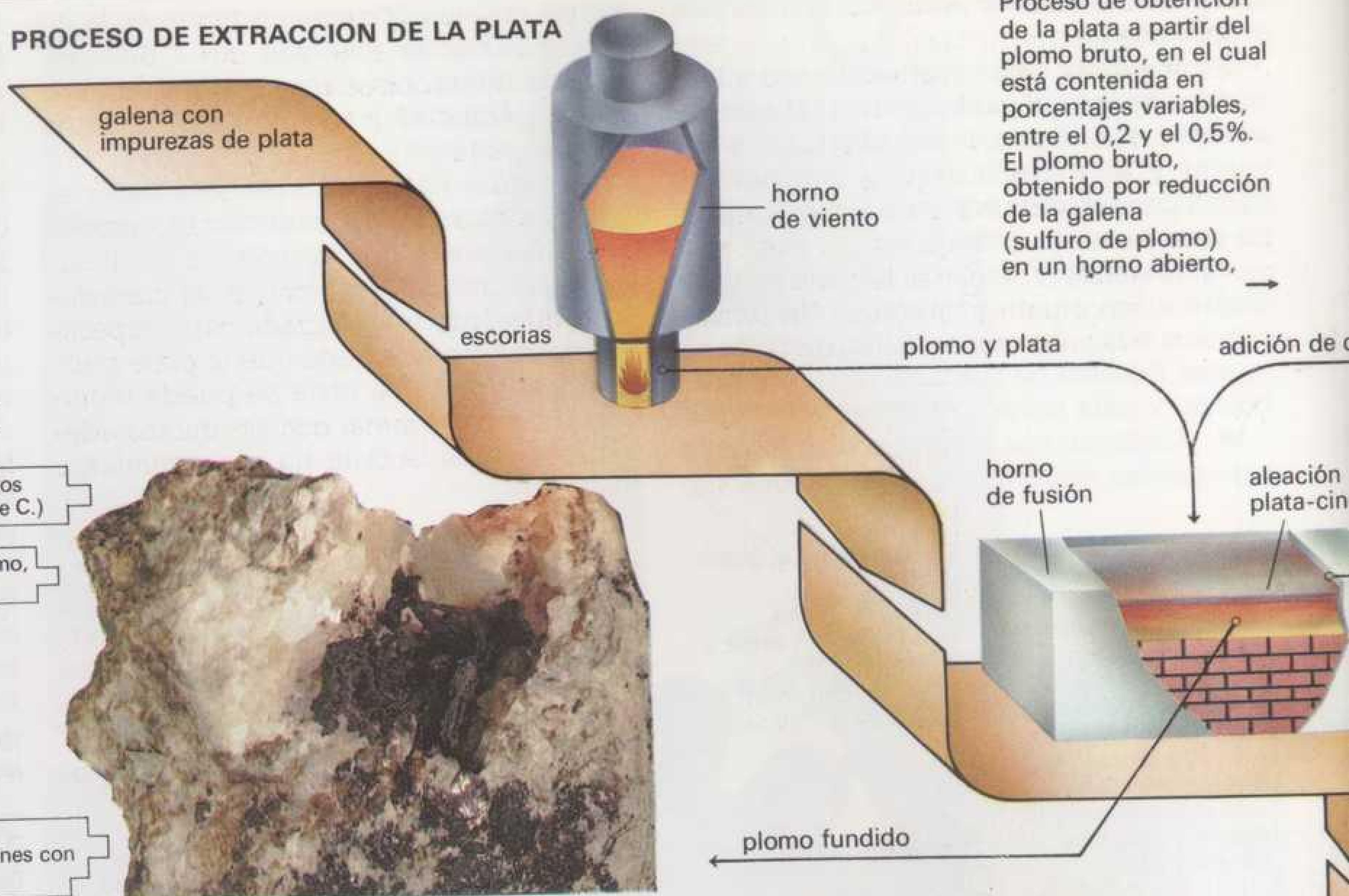


Las materias plásticas con cualidades especiales, en cuanto a resistencia y rigidez se refiere, son empleadas, por ejemplo, en la fabricación de cascos para embarcaciones deportivas, así como en la realización de objetos para decoración y mobiliario. En la columna de la derecha: un frasco de material plástico para preparados rápidos utilizado en hospitales; aplicación de las materias plásticas en la industria textil, en la que se hace sin duda un amplio uso de fibras acrílicas, poliésteres y poliamidas; por último, un cesto realizado en plástico.

En esta página, dos ejemplos de utilización tecnológica de los materiales plásticos. A la izquierda, un pequeño eje excéntrico, y, abajo, un vehículo cuya carrocería ha sido fabricada en material plástico.

Plata

SIMBOLO	Ag
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *platus*, "lámina", y del griego *arguro*, "luminoso"
N. ATOMICO	47
PESO ATOMICO	107,870
ABUNDANCIA DEL MINERAL EN LA CORTEZA TERRESTRE	1 parte por millón
ESTADO NATURAL	en estado nativo y en los minerales argentita, proustita y pirargirita
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	citada por primera vez en los libros del rey egipcio Menes (3600 a. de C.)
PRODUCCION	subproducto de la metalurgia del plomo, del cobre y del cinc
P. f. °C	961
P. eb. °C	2.200
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	10,5
PROPIEDADES Y APLICACIONES	conductor de la electricidad y del calor; utilizado en aleaciones con cobre (Ag 80%, Cu 20%)



Antiguamente la plata se utilizaba en la fabricación de objetos como vasos, platos, empuñaduras talladas de espadas, dagas, estatuillas religiosas, cofrecillos y objetos de decoración como candelabros, espejos, sillas y mesas, etc. Los tiempos han cambiado y en la actualidad la plata se utiliza, entre otras aplicaciones, en los sistemas de purificación de agua de las naves espaciales, en los procesos fotográficos, en equipos electrónicos y en la elaboración de antibióticos.

La plata es un metal perteneciente al primer grupo del sistema periódico, de color blanco y brillante, debido a su alto poder de reflexión. Estas características hicieron que los romanos la denominaran con el nombre de *argentum* (que significa blanco y brillante), del cual deriva su símbolo químico Ag.

Métodos de extracción y producción de plata Mientras que el oro puro suele encontrarse en forma de pepitas, esto ocurre muy raramente en el caso de la plata. Las cantidades de plata que se recogen en estado nativo carecen de importancia comercial. La mayor parte de la plata se obtiene como subproducto de la extracción del cobre, del níquel y del plomo, si bien todavía se siguen extrayendo por procedimientos mineros diversas menas, entre las que destacan la *argentita*, la *pirargirita* y la *proustita*. En el procedimiento de extracción de la plata por *cianuración*, la mena triturada se disuelve en una solución diluida de cianuro sódico en presencia de aire, se filtra la disolución y el metal precipita por medio del polvo de cinc.

Otro método para extraer la plata de sus minerales es el de *amalgamación*, aportación española a la metalurgia. En este método, la mena triturada se disuelve en mercurio, formando una amalgama que se destila en retortas de hierro: el mercurio se volatiliza, y la plata queda en la retorta. Este método está prácticamente en desuso por su escasa rentabilidad.

En el caso de minerales de plomo (galenas), que representan una de las principales fuentes de obtención de plata, ésta es extraída del plomo fundido por división en fase líquida con cinc fundido, según el procedimiento de *Parkes*: después de eliminar las impurezas, el metal fundido se mezcla con un 2% de cinc, inmiscible con plomo, pero no con la plata, a la que arrastra; esta aleación de cinc y plata se calienta en retortas para separar el cinc por destilación. El residuo de las retortas se somete al proceso de copelación para oxidar y fundir los posibles restos de plomo.

El cobre y el níquel, que se purifican por métodos electrolíticos, contienen plata a modo de impurezas. Generalmente la plata no es soluble en el electrolito y se recoge como un componente más de los lodos anódicos, junto con oro, platino y otros metales preciosos. Esos lodos se someten a tostación, lixiviado y fusión, con el fin de eliminar los residuos del metal base, (cobre o níquel). A continuación se introduce en moldes para obtener unos bloques anódicos, y la plata que éstos contienen se electrodeposita en un baño de nitrato de plata sobre cátodos de carbono o de plata pura. La plata así producida llega a tener una pureza superior al 99,9%.

Plata y dinero La escasez y belleza de este metal lo convirtieron en un importante medio de intercambio en las transaciones comerciales. En un principio la plata se fundía en barritas que podían ser cortadas en varias medidas. Después, se consideró más conveniente cortar las barritas en partes iguales, grabando sobre ellas su peso. Finalmente se procedió a la estampación sobre trozos planos de plata, surgiendo, así, las primeras monedas de este metal. Hubo una época en que la plata además de ser el metal base para la acuñación de monedas se utilizó como patrón de medida monetaria. Sin embargo, la plata fue perdiendo valor en relación al oro, produciéndose, principalmente durante el siglo XIX, una desvalorización gradual de la plata, que redujo bruscamente la demanda de este metal. A partir del último tercio del siglo XIX todos los países fueron adoptando el patrón oro, y la plata se conservó únicamente para la acuñación de monedas fraccionarias, aleándola con otros metales. En la actualidad no hay ninguna nación importante que fabrique monedas de este metal.

Principales aplicaciones La plata ha pasado de ser metal para acuñación de monedas a convertirse en elemento fundamental de determinados procesos industriales, siendo también muy utilizada en Medicina. Todo ello como consecuencia de una serie de características específicas de este metal: la plata es un metal único en cuanto que combina la más alta conductividad térmica de todos los metales con la máxima conductividad eléctrica, lo que hace que resulte muy adecuada para recubrir cables que transportan corrientes de alta frecuencia, que sólo circulan por las capas superficiales. Su elevada reflectividad se aprovecha para recubrir espejos y objetos metálicos (plateado). Se emplea también en la construcción de recipientes destinados a sustancias corrosivas. Finamente dividida actúa como catalizador en reacciones de hidrogeneración. La soldadura de plata, aleación del 30% de cobre y 10% de cinc en plata, tiene un elevado punto de fusión (770 °C) y gran resistencia. Se emplea en trabajos de ingeniería de alta calidad y en joyería. En Medicina, por su relativa inercia química, la plata puede ser utilizada con seguridad en el cuerpo humano sin

temor a complicaciones o rechazo. La plata se suele utilizar, al igual que el oro, para rellenar cavidades, y las placas de plata son a veces utilizadas para reforzar o sustituir partes de hueso dañadas. Los hilos de plata se utilizan para atar huesos fracturados y durante un tiempo se emplearon para coser en quirófano. Por razones aún no del todo claras la plata es también un importante antibiótico. Un fármaco conocido como sulfadiacina de plata se utiliza en el tratamiento de las quemaduras graves y también para combatir el virus del herpes, responsable de la dermatitis, caracterizada por la formación de grupos de pequeñas vesículas sobre la piel o las mucosas.

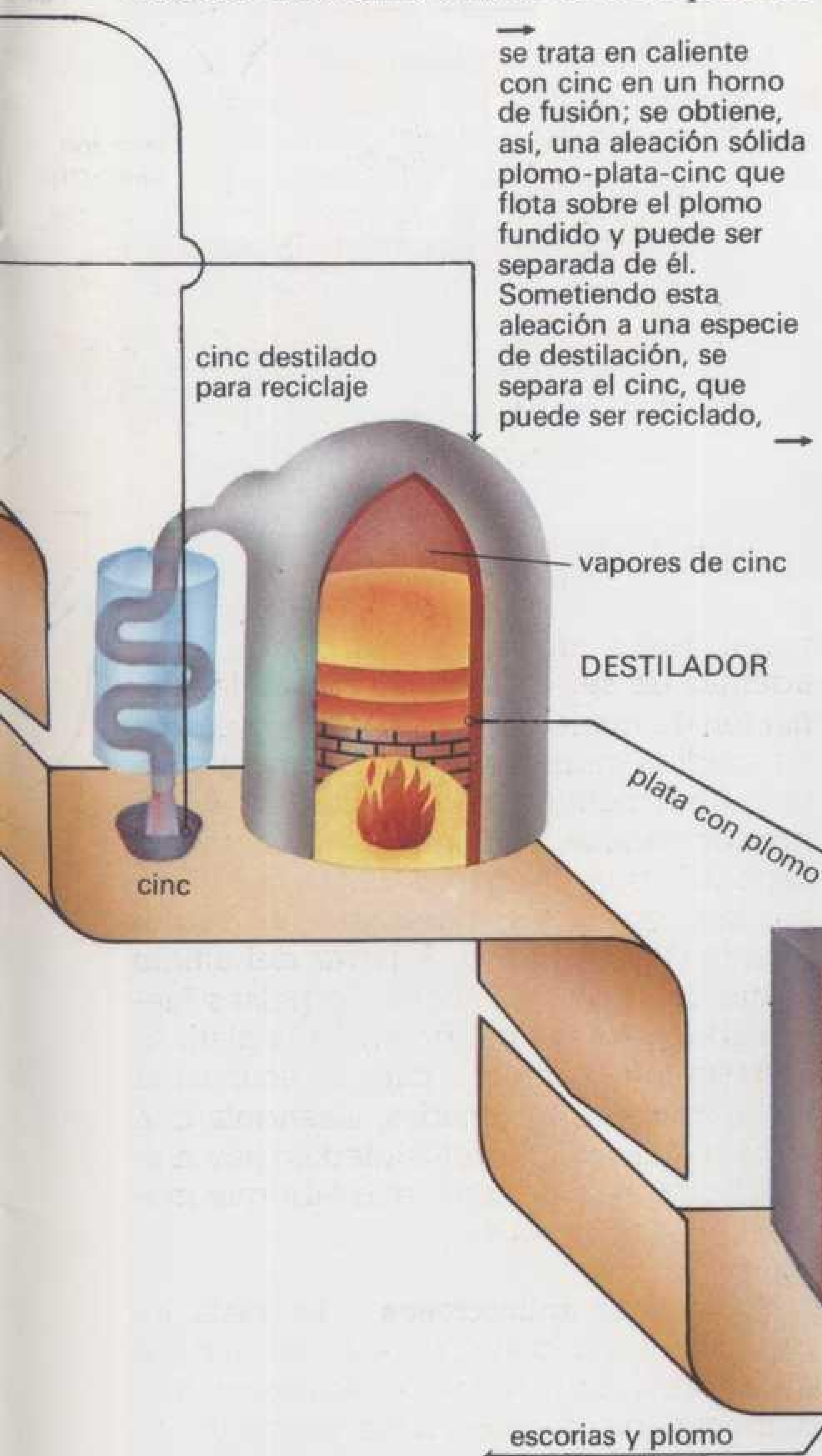
Puesto que es capaz de matar más de 650 tipos de organismos patógenos (un antibiótico normal destruye específicamente 5 ó 6 organismos), la plata se utiliza en los sistemas de filtración de agua. La NASA ha elegido filtros de plata para purificar el agua en el *Space shuttle* (transbordador espacial), y el uso de estos filtros para campings y en la vida al aire libre está en constante aumento.

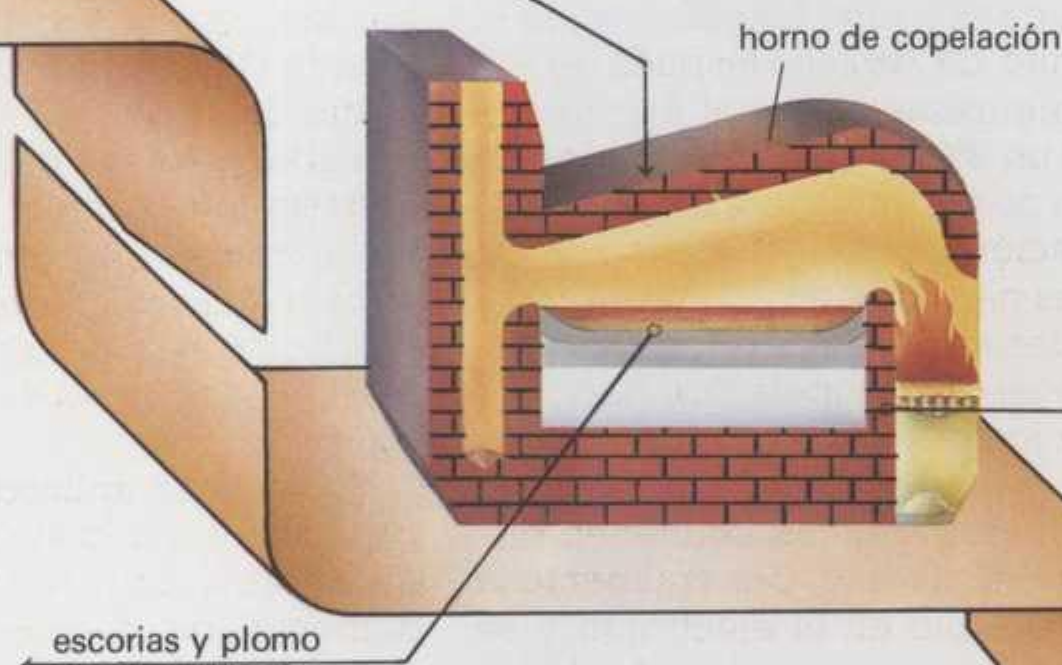
Antes de la II Guerra Mundial, la demanda de plata era principalmente debida a su empleo en platería y en la fabricación de joyas. Aunque la plata maciza es más dura que el oro puro, ha de mezclarse con otras sustancias puesto que totalmente pura resultaría demasiado blanda. La llamada aleación *sterling*, por ejemplo, es una aleación que contiene un 92,5% de plata, mientras el restante 7,5% está compuesto por otros metales, como el cobre. La *plata de ley* es una aleación de un 95% de plata y un 5% de cobre. La plata de joyería contiene el 80% de plata y el 20% de cobre. La plata reacciona fácilmente con las pequeñas cantidades de dióxido de azufre que contaminan la atmósfera, formándose una delgada capa superficial de sulfuro que hace que la plata pierda brillo. Esta capa mate se puede eliminar puliendo el metal con productos adecuados, o aplicándole un procedimiento electrolítico.

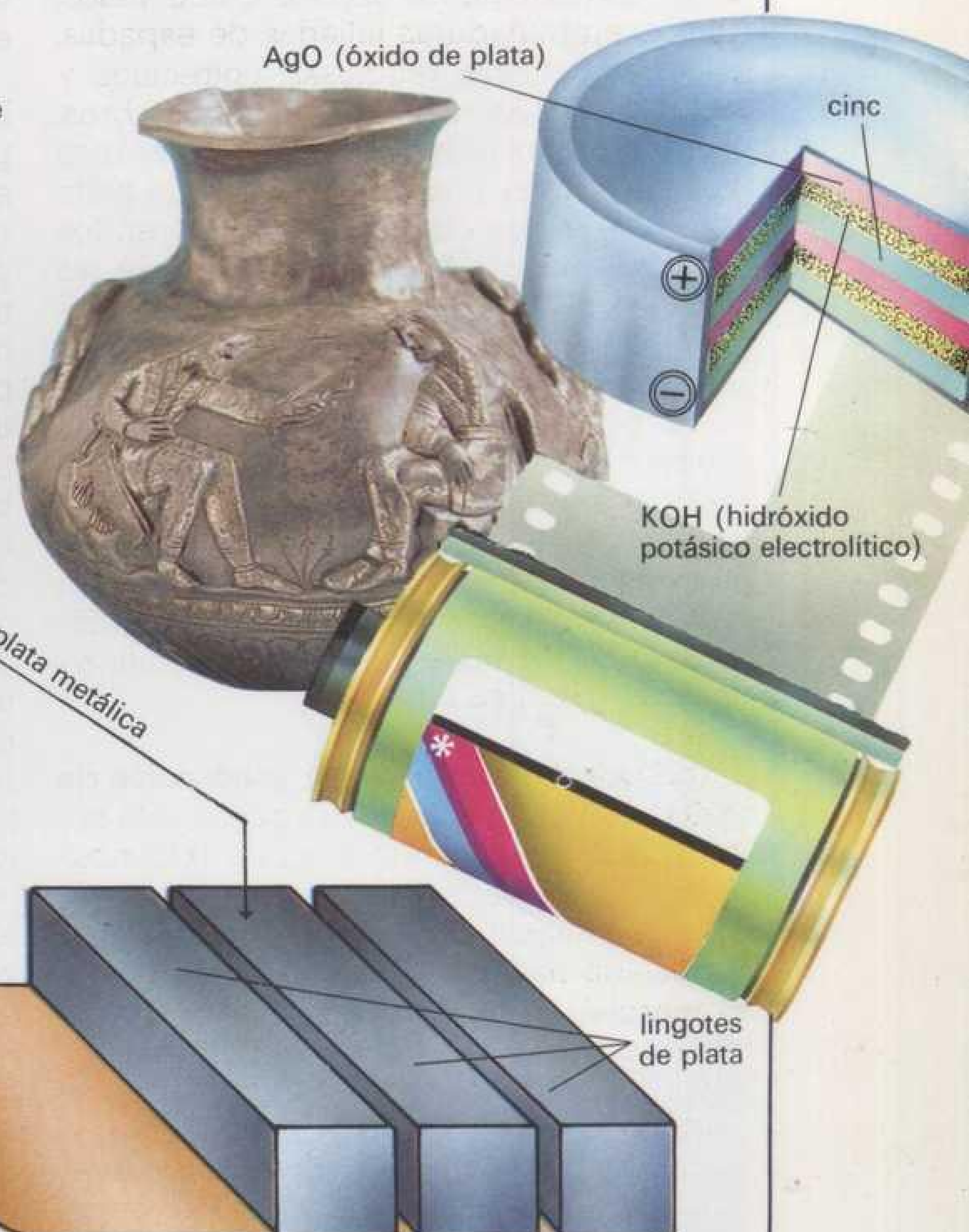
Después de la II Guerra Mundial, el empleo de la plata disminuyó debido a su costo excesivo y a la competencia del acero inoxidable. Poco menos de un tercio de la plata utilizada industrialmente se emplea ahora en el campo de la fotografía, representando una parte esencial, y por ahora insustituible, de la emulsión fotográfica. Una película fotográfica está constituida por una mezcla granulosa de minúsculos cristales de plata, llamada *emulsión*, extendida sobre un soporte. Cuando la película es expuesta a la luz, se producen algunos cambios químicos en esos compuestos. Durante el revelado, los cristales de plata precipitan de las sales haloideas y en el fijado las zonas de plata alcanzadas por la luz se fijan permanentemente al soporte, mientras que las partes no expuestas a la luz son eliminadas. Observando un negativo fotográfico a contra luz se observa que las áreas negras están constituidas por plata metálica, mientras que las áreas blancas son las zonas en las cuales los compuestos de plata han sido eliminados. Afortunadamente gran parte de la plata que queda en la película y de la que se separa durante el fijado puede ser recuperada mediante electrolisis y otros procedimientos químicos, aunque esta recuperación es rentable sólo si se realiza a gran escala.

La plata es un buen conductor de electricidad porque, al igual que otros metales como el cobre y el cinc, tiene la propiedad de perder fácilmente electrones. Aunque costoso, es tan buen conductor que basta una pequeña cantidad pintada o estampada en líneas delgadas sobre un soporte de plástico, madera o vidrio, para asegurar una estrecha unión en los circuitos eléctricos. La capacidad de perder electrones convierte a la plata en un excelente material para la construcción de pilas y baterías. Las baterías de plata tienen con respecto al peso y al espacio un elevado rendimiento energético en comparación con otros tipos de baterías. Por esta razón tienen gran aplicación en las cámaras fotográficas, relojes, naves espaciales, prótesis acústicas, etc.; es decir, aparatos en los que se necesitan baterías pequeñas pero potentes.

Véase **Metales nobles; Oro; Platino**







→ se trata en caliente con cinc en un horno de fusión; se obtiene, así, una aleación sólida plomo-plata-cinc que flota sobre el plomo fundido y puede ser separada de él. Sometiendo esta aleación a una especie de destilación, se separa el cinc, que puede ser reciclado, →

→ mientras que la aleación plomo-plata restante, rica en plata, se separa en sus dos componentes en un horno especial. La plata obtenida de esta forma es refinada por electrolisis. La plata pura, que es muy blanda y dúctil, puede ser endurecida aleándola con otros metales. Por ejemplo, la *plata 800*, utilizada para objetos de platería, contiene el 20% de cobre, mientras que la aleación *sterling* tiene un porcentaje de cobre no superior al 7,5%.

La plata se ha venido empleando desde hace siglos para acuñar monedas y fabricar objetos decorativos, como el vaso del siglo IV-III a. de C. obra de arte de los escitas encontrado en Crimea (foto superior). La plata tiene múltiples aplicaciones: como material para →

→ contactos eléctricos, para joyería, en odontología, en equipos de laboratorio, en la preparación de emulsiones fotográficas (a base de bromuro y nitrato de plata) y en la fabricación de tipos especiales de pilas y baterías cinc-plata (arriba).

Plataforma continental

La plataforma continental es la región que se extiende desde la línea de costa hasta el talud continental. Se caracteriza por ser una zona generalmente de escaso relieve y con una inclinación muy suave (entre 0,1° y 3°) hacia el mar abierto. En esta zona se produce una importante acumulación de sedimentos, procedentes de los aportes fluviales o de la propia acción del oleaje sobre la costa, que son distribuidos sobre la plataforma por efecto de las corrientes marinas.

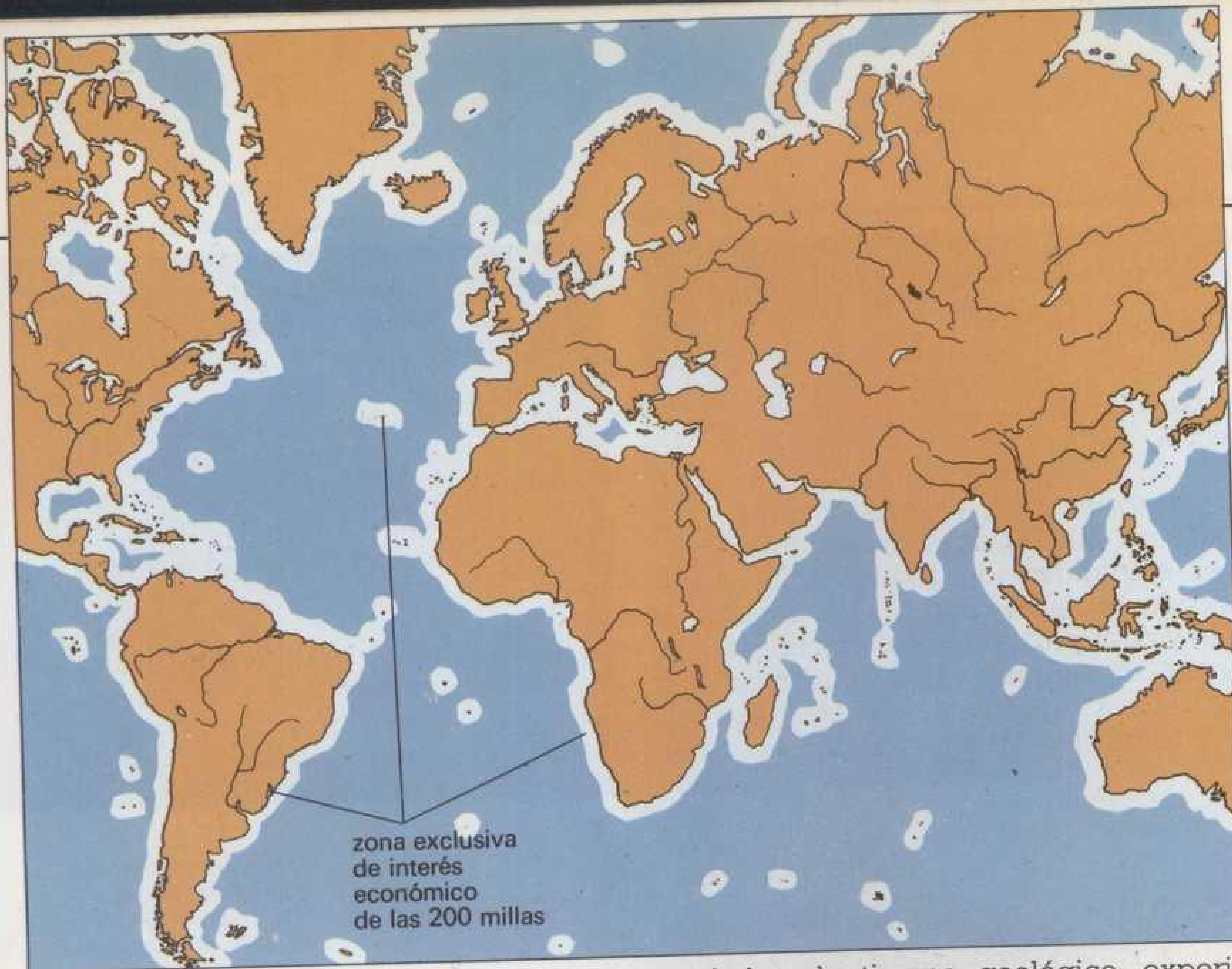
El límite externo de la plataforma continental lo forma el talud continental, caracterizado por una mayor pendiente (alrededor de 30°), que desciende hasta la región oceánica abisal, en la que tanto la composición de las rocas como el modelado del relieve submarino cambian notablemente.

Las dimensiones de la plataforma continental Normalmente se representa la plataforma continental como una superficie desprovista de relieve y suavemente inclinada que bordea mar adentro las tierras emergidas, formando una franja de anchura variable (unos 75 km como media) y cuya profundidad puede llegar hasta los 200 metros en la zona más alejada de la costa. No obstante estos rasgos pueden variar de unas zonas a otras; así, existen zonas emergidas, como las islas Canarias, que carecen de plataforma continental, ya que no son realmente fragmentos continentales, sino islas volcánicas asentadas directamente sobre el fondo oceánico; otras zonas poseen, por el contrario, una plataforma continental muy amplia, tal es el caso de la Patagonia, en América del Sur, cuya plataforma se extiende unos 500 kilómetros mar adentro en el océano Atlántico.

Modelado de la plataforma Aunque en su mayor parte las plataformas continentales son estructuras geológicas de suave morfología, con frecuencia presen-



La plataforma continental es la parte sumergida del continente que se extiende desde la línea de costa hasta el talud continental. La plataforma tiene una pendiente muy suave, mientras que el talud es más abrupto y llega hasta profundidades abisales, donde comienza el fondo oceánico propiamente dicho. La plataforma puede llegar a una profundidad de unos 200 metros. La zona con mayor abundancia de organismos vivos es la zona fótica, donde penetra la luz solar. Arriba puede verse un perfil esquemático y un bloque diagrama de una plataforma continental, donde se aprecian algunas formas erosivas producidas en períodos en que se encontraba parcialmente emergida. En la siguiente página, arriba, puede verse un mapa mundi en el que se han señalado las aguas territoriales de los diferentes países: abarcan una franja paralela a la costa de unas 200 millas de ancho, que viene a coincidir con las plataformas →



tan formas erosivas y sedimentarias importantes que alteran su continuidad: las más destacables son los profundos surcos transversales que desembocan en el talud, y que corresponden a antiguos valles fluviales situados en la prolongación de importantes ríos actuales. Asimismo se pueden conservar restos de sedimentos aluviales ligados a esta red hidrográfica hoy día sumergida. También son frecuentes los escarpes o escalones más o menos paralelos a la costa actual y que corresponden a las antiguas líneas costeras que posteriormente serían cubiertas por las aguas.

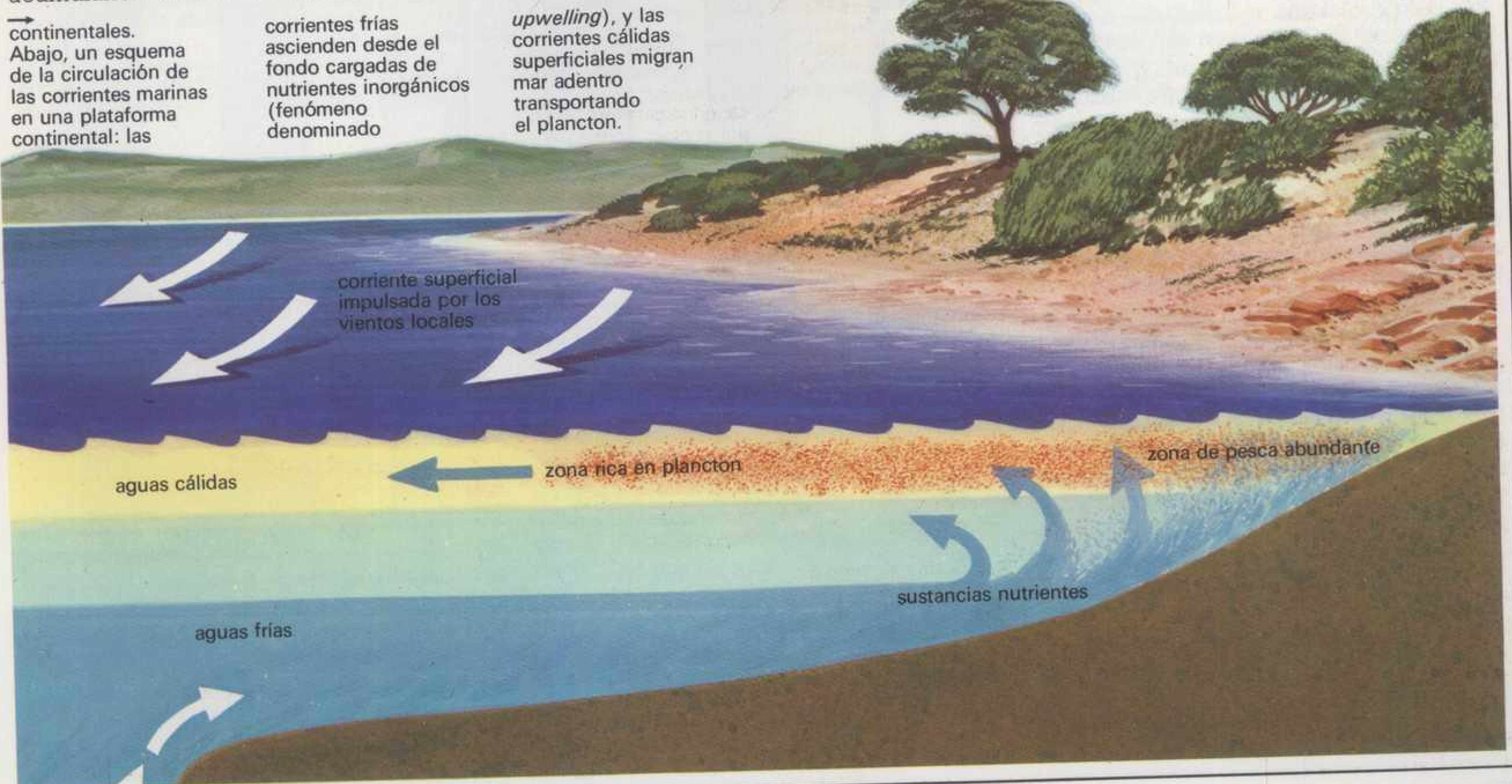
El cierre de una cuenca oceánica, provocado por el movimiento de las placas litosféricas, y la colisión final de los bloques continentales provocan la destrucción a lo largo de las plataformas continentales. Las potentes series sedimentarias, que se van acumulando sobre ellas durante extensos períodos de tiempo geológico, experimentan un intenso plegamiento y emergen del mar formando cadenas de montañas. Tal es el caso del Himalaya y de los Alpes, originados durante el Terciario, hace unos 50 millones de años, por la colisión entre el continente asiático y la placa de la India.

La influencia de las glaciaciones Las glaciaciones ocurridas a lo largo del Cuaternario han influido directamente en el modelado de las plataformas continentales. En el Pleistoceno (hace unos 10.000 años) tuvo lugar la última glaciación, durante la cual un enorme volumen de agua quedó retenido formando los casquetes polares que cubrían gran parte de la tierra emergida. Como consecuencia, el nivel del mar descendió una media de unos 150 metros, dejando al descubierto buena parte de las plataformas continentales, que experimentaron, por tanto, los efectos característicos del modelado glaciar y fluvial. Además, las nuevas líneas de costa, que quedaban entonces más próximas al talud continental, también sufrieron un modelado propio, originándose acantilados, playas, formaciones deltaicas, etc. Todas estas formas resultantes de la erosión o de la sedimentación se siguen conservando "fosilizadas" bajo el agua en las plataformas continentales actuales.

Importancia económica Aunque la plataforma continental constituye un objeto de estudio principalmente dentro del campo de la Geología, no está exenta de implicaciones técnicas, económicas, e incluso políticas y sociales. En primer lugar, al ser una zona relativamente inestable debido a la movilidad de los sedimentos poco consolidados que la recubren, el tendido de cables submarinos requiere una continua vigilancia y, por tanto, estudios técnicos muy complejos. Por otro lado, se han encontrado importantes yacimientos de petróleo y de gas natural en formaciones sedimentarias, principalmente deltaicas, depositadas en plataformas continentales, como las del mar del Norte. Además, es en las aguas de las plataformas continentales donde se encuentran los bancos de pesca de mayor interés comercial. En consecuencia, los estados ribereños han venido últimamente extendiendo su influencia jurisdiccional —antiguamente circunscrita a unas pocas millas mar adentro— a una franja de 200 millas de anchura, en base a una definición económico-política de la plataforma continental como "zona de interés económico".

Véase **Cartas marinas; Continentes; Corrientes marinas; Deriva continental; Geología; Geomorfología; Glaciaciones; Oceanografía**

→ continentales. Abajo, un esquema de la circulación de las corrientes marinas en una plataforma continental: las corrientes frías ascienden desde el fondo cargadas de nutrientes inorgánicos (fenómeno denominado *upwelling*), y las corrientes cálidas superficiales migran mar adentro transportando el plancton.



Platino

NOMBRE	PLATINO
SIMBOLO	Pt
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del español *platina* (diminutivo de plata)
N. ATOMICO	78
PESO ATOMICO	195,09
ESTADO NATURAL	en estado elemental, junto al hierro, paladio, cobre y níquel
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	A. de Ulloa (1735)
PRODUCCION	de las arenas de origen aluvial, o también como subproducto de la metalurgia del níquel
P. f. °C	1.773
P. eb. °C	3.800
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	21,45
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal dúctil y maleable, utilizado como catalizador de numerosas reacciones y en aleación con el rodio y el iridio para la fabricación de utensilios de laboratorio, termocopias y en orfebrería

Hasta muchos años después de su descubrimiento, el platino no fue objeto de un interés particular. Considerado al principio de inferior calidad al oro, fue utilizado, durante algún tiempo, como aditivo de éste, fundamentalmente para adulterarlo. Actualmente el platino es más preciado que el oro, se emplea en joyería y es prácticamente insustituible en diversas aplicaciones industriales.

La familia del platino El platino es un metal semejante a la plata; su nombre deriva de la palabra española "platina", diminutivo y despectivo de plata ya que fue descubierto por un español, el matemático y marino Antonio de Ulloa. Elemento químico perteneciente a la tercera serie de los metales de transición, el platino forma parte, junto con los metales rutenio, rodio, paladio, osmio e iridio, del llamado grupo del platino. De este grupo, el platino es el metal más conocido y, con gran diferencia, el más importante desde el punto de vista tecnológico y económico.

Análogamente a los otros miembros del grupo, el platino es inerte bajo el punto de vista químico. Por esta razón se encuentra, como el oro, disperso en la Naturaleza en forma de pequeños gránulos irregulares y de pepitas que pueden ser separados mediante procesos de tamizado o por simple eliminación de impurezas. En general, el platino se encuentra mezclado o en forma de aleación con otros metales de su grupo, o también con el hierro, el oro, el cobre o el níquel. El proceso de separación del platino de los otros metales resulta muy difícil debido a que todos ellos presentan fuertes analogías en su comportamiento químico.

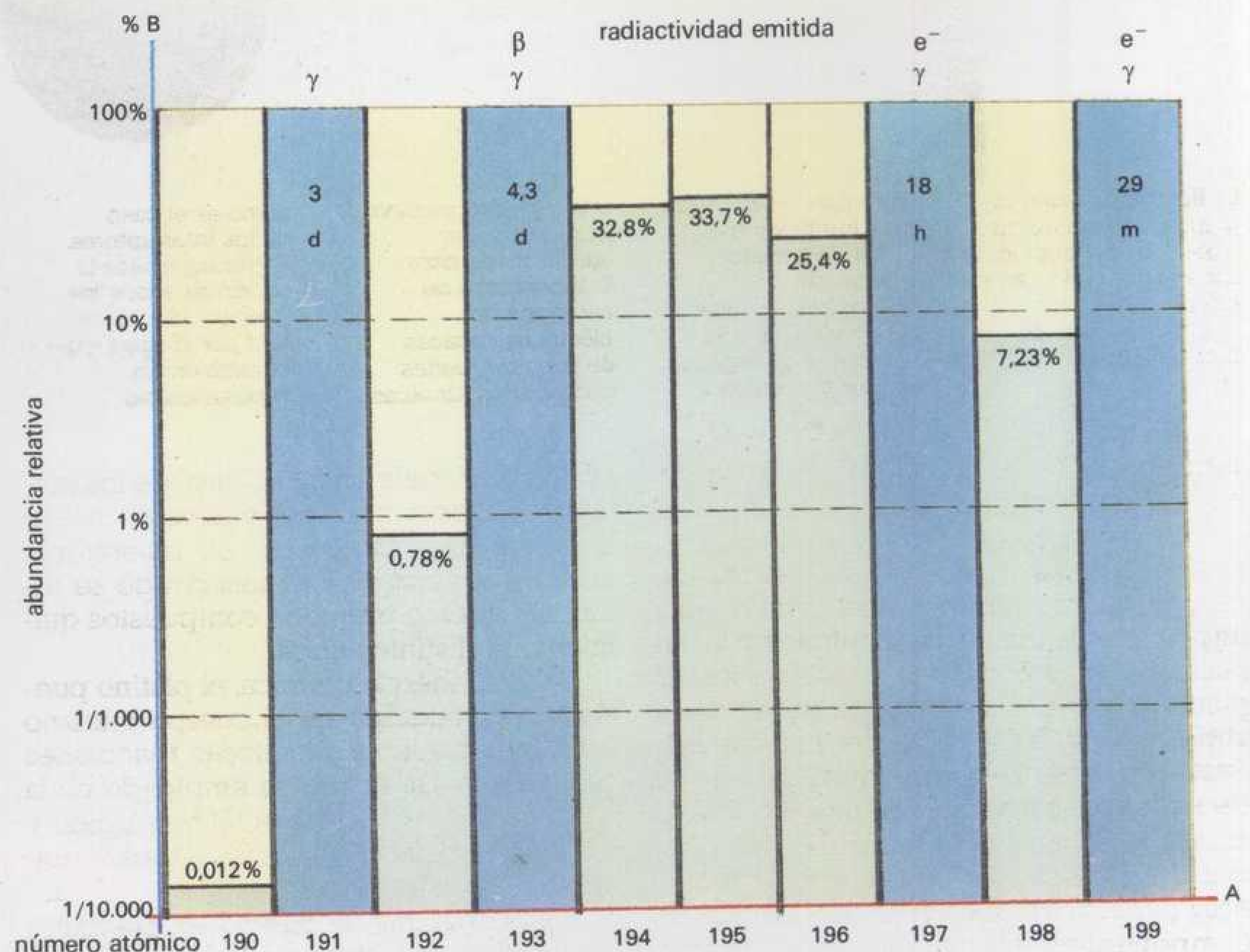
Los depósitos más importantes de platino y de metales de su grupo se encuentran en los Montes Urales, en la Unión Soviética. Otros importantes yacimientos en explotación con fines industriales se localizan en Canadá, donde estos metales son extraídos directamente u obtenidos como



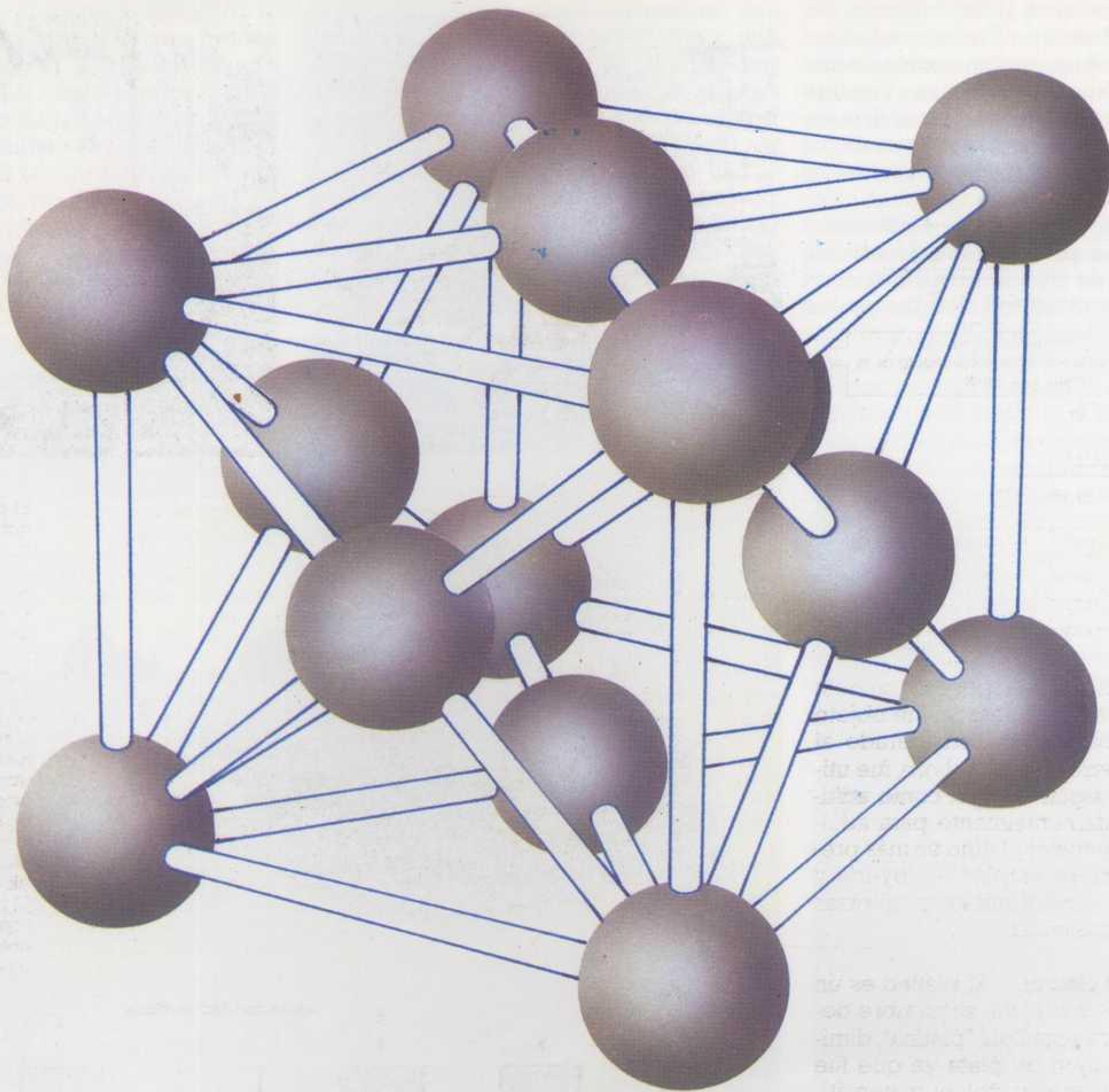




El platino es un metal noble más preciado que el oro debido a su escasez. A la izquierda, el llamado negro de platino, obtenido separando el platino de sus sales y utilizado como catalizador. Arriba, a la derecha, un bloque de platino puro y, a la izquierda, un mineral de platino que además de un pequeño porcentaje de este elemento, contiene principalmente hierro, níquel, cobre y paladio. El proceso de separación para obtener platino puro es difícil y muy costoso.



Los átomos de platino son todos iguales por lo que se refiere a la disposición de los electrones, pero diferentes en lo que concierne a los núcleos. Las columnas del diagrama de arriba indican la abundancia de algunos átomos de platino. Estos se diferencian entre sí por la forma en que están constituidos sus núcleos. En efecto, todos los núcleos poseen el mismo número de protones (número atómico), pero su número másico (suma de protones y neutrones) es diferente. Los neutrones no modifican la carga del núcleo, pero sí la masa. Los átomos de números másicos 191, 193, 197 y 199 son radiactivos y, por tanto, se descomponen espontáneamente. No se encuentran en estado libre en la Naturaleza, pero se pueden obtener bombardeando otros núcleos por medio de partículas nucleares.



La ilustración superior representa la estructura molecular del platino, correspondiendo cada esfera a un átomo. El platino, como se deduce también de la rigidez de su red molecular, es un metal muy inerte y muy difícil de hacerlo reaccionar químicamente. Esta, que podría ser una característica negativa, es, por el contrario, una cualidad positiva que puede ser aprovechada para la fabricación de componentes eléctricos capaces de soportar fuertes oscilaciones térmicas, como es el caso de los interruptores. El platino resiste la acción de todos los ácidos y es atacado sólo por el agua regia. Es también un importantísimo catalizador: el hidrógeno y el oxígeno, por ejemplo, se combinan a temperatura ambiente sólo en presencia de este metal. Su utilización como catalizador está muy difundida, especialmente en la fabricación de dos ácidos de gran importancia industrial: el ácido nítrico y el ácido sulfúrico.

subproductos en las operaciones de extracción del oro.

Aplicaciones Dos características hacen del platino un metal particularmente importante: la inactividad química y la capacidad de actuar como catalizador. El platino no reacciona con los gases de la atmósfera; su superficie permanece brillante y resplandeciente incluso después de ser expuesta a un calor intenso. Difícilmente se oscurece. Tales propiedades hacen del platino un metal particularmente apto para su empleo en la fabricación de componentes eléctricos, como rotores, donde la apertura y el cierre de los contactos deben ser garantizados incluso después de una larga exposición al aire y a altas temperaturas. El platino resiste la acción de casi todos los ácidos; es atacado y disuelto sólo por el *agua regia*, una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico (llamada así porque disuelve también el oro, considerado como el "rey" de los metales). Por este motivo el platino es utilizado para fabricar objetos de laboratorio, como, por ejemplo, crisoles donde se trituran, funden o preparan compuestos químicos de distintos tipos.

Dada su inercia química, el platino puede ser introducido en el cuerpo humano sin temor a que se produzcan reacciones de rechazo. De hecho es empleado en la preparación de instrumental quirúrgico y en las composiciones utilizadas para empastes dentales.

Debido a que el platino es blando y dúctil, debe ser endurecido añadiéndole pequeñas cantidades de iridio y rodio (aleaciones para utensilios de laboratorio) o de iridio y rutenio (aleaciones para joyería).

El platino es también un importante catalizador, por ejemplo, el hidrógeno y el oxígeno se combinan a temperatura ambiente sólo en presencia de platino. Aplicaciones industriales del platino como catalizador las encontramos en la oxidación del amoniaco para la obtención del ácido nítrico y en la oxidación del dióxido de azufre para obtener ácido sulfúrico. Los metales platínidos también se emplean para catalizar la oxidación de los hidrocarburos no quemados, así como para la reducción de los óxidos de nitrógeno en dispositivos destinados a reducir la contaminación atmosférica producida por los gases de combustión de los automóviles. La presencia del platino en estos dispositivos anticontaminantes favorece la reacción entre el óxido de carbono contenido en los gases de escape y el oxígeno. No obstante, el elevado precio del platino impide que sea empleado en gran escala como catalizador, y siempre se buscan otras posibilidades menos caras.

Véase **Catálisis y catalizadores; Minerales; Paladio y rutenio; Plata**

Playa

Cuando hace unos 4.700 millones de años se formó la Tierra, probablemente a partir de una aglomeración inicial de rocas y polvo cósmico, aún no existía agua en estado líquido, sino que ésta se hallaba formando parte de estructuras minerales; no había por lo tanto ni ríos ni océanos.

Posteriormente, hace unos 4.500 millones de años, se produjo una diferenciación en capas de distinta densidad, concentrándose en el núcleo del planeta los elementos más pesados. Este proceso fue acompañado por un importante aumento de la temperatura que permitió la liberación de los primeros materiales volátiles. Así se formaron los primeros océanos y la primera atmósfera terrestre: el océano debió mantenerse a una temperatura superior a los 70 °C durante más de 500 millones de años, mientras que la atmósfera, formada casi exclusivamente por ácido sulfhídrico, metano y amoniaco, debió conservarse invariable durante otros 3.000 millones de años.

Una vez formadas, las aguas oceánicas comenzaron a ejercer una intensa acción mecánica sobre las costas continentales, que lentamente fueron modificándose por efecto de la erosión y del transporte de sedimentos.

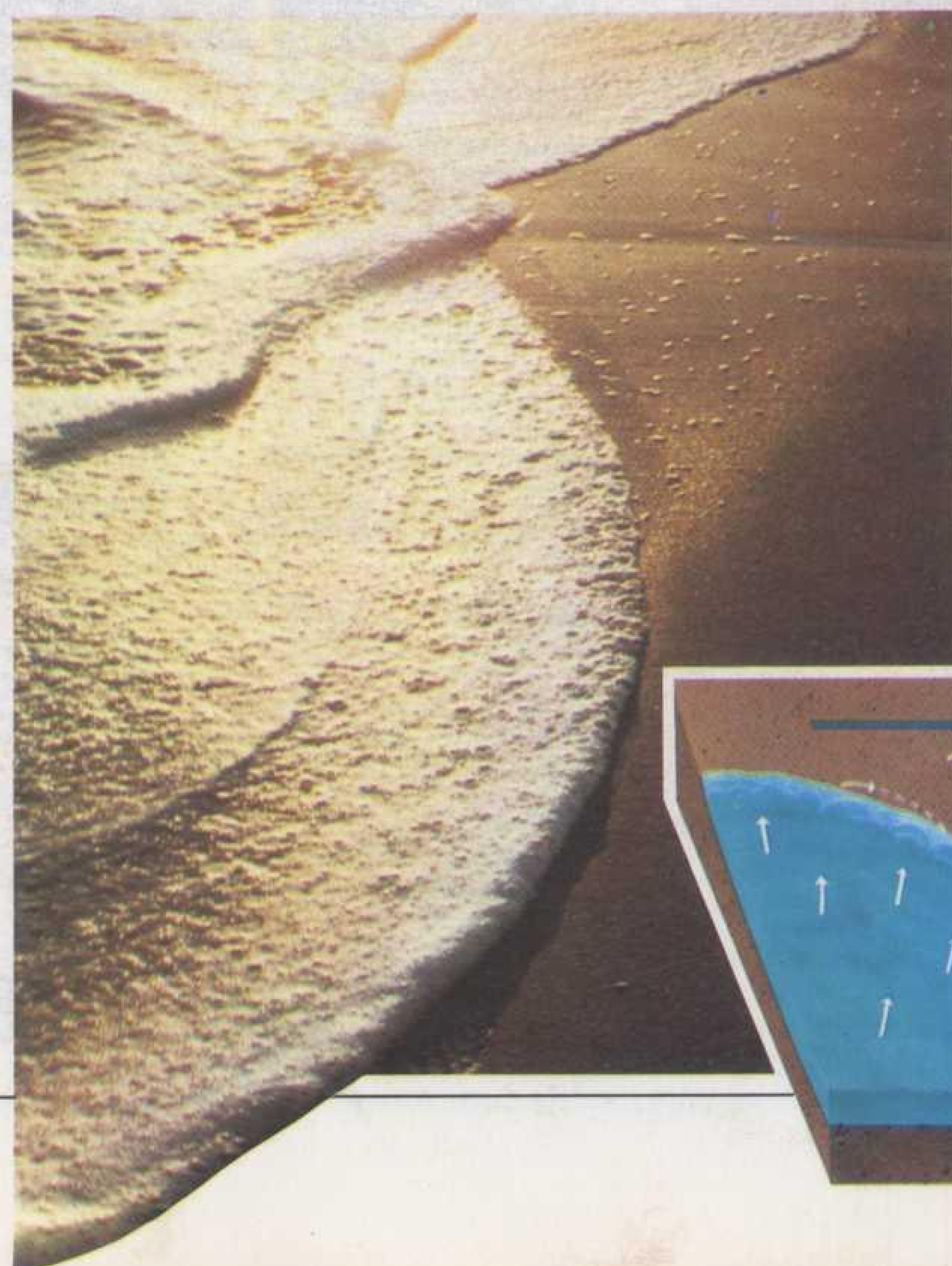
Costas de hundimiento y de emersión Actualmente algunas zonas costeras sufren un proceso de hundimiento progresivo, lo que da lugar a que el mar tienda a penetrar en ellas. Las tierras sobre las que se asientan los Países Bajos, por ejemplo, experimentan un hundimiento paulatino, por lo que, para evitar la anegación de las costas, se construyen diques que detienen el avance del mar. En otras costas, por el contrario, se producen procesos de levantamiento que hacen que el mar vaya retirándose gradualmente. Así, por ejemplo, las costas de Asturias (España) han experimentado un levantamiento de unos cien a doscientos metros durante los últimos miles de años.

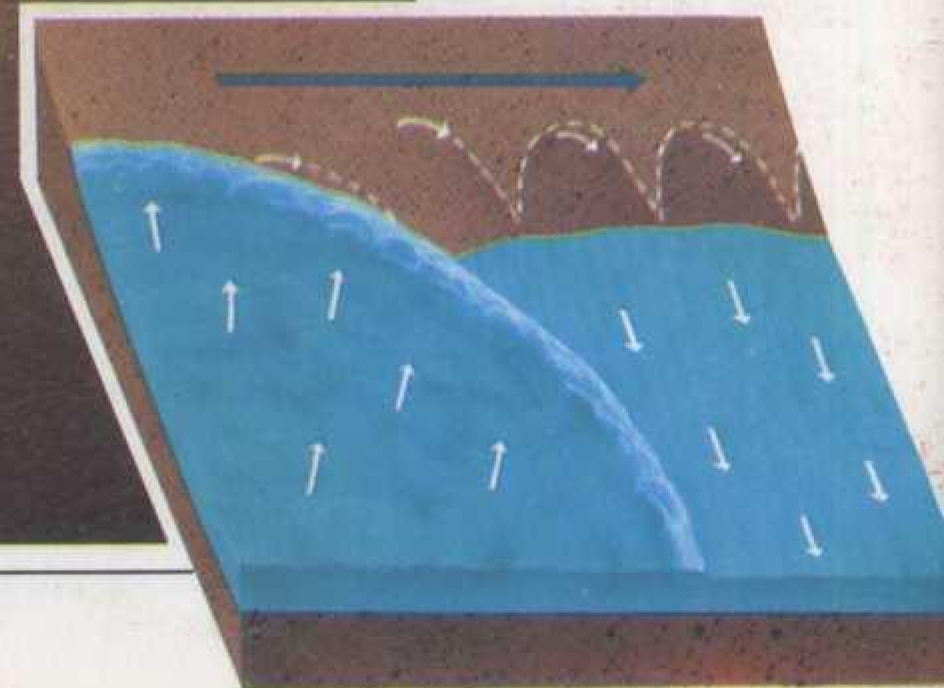
Las formas que presentan las costas pueden ser muy diversas: pueden tener un trazado rectilíneo, sinuoso, recortado, etc., dependiendo de muchos factores, como, por ejemplo, la inclinación de los estratos, el tipo de roca existente, etcétera.

En la clasificación de las costas se tienen en cuenta numerosos parámetros: el tipo de material predominante (arena, roca, piedras sueltas), la pendiente (según la cual se puede hablar de playas propiamente dichas o acantilados), la capacidad erosiva del mar en esa zona (que depende a su vez de las corrientes marinas, los vientos dominantes, etc.), el tipo de régimen de mareas (la diferencia de altitud entre la línea de pleamar y la de bajamar), etcétera.

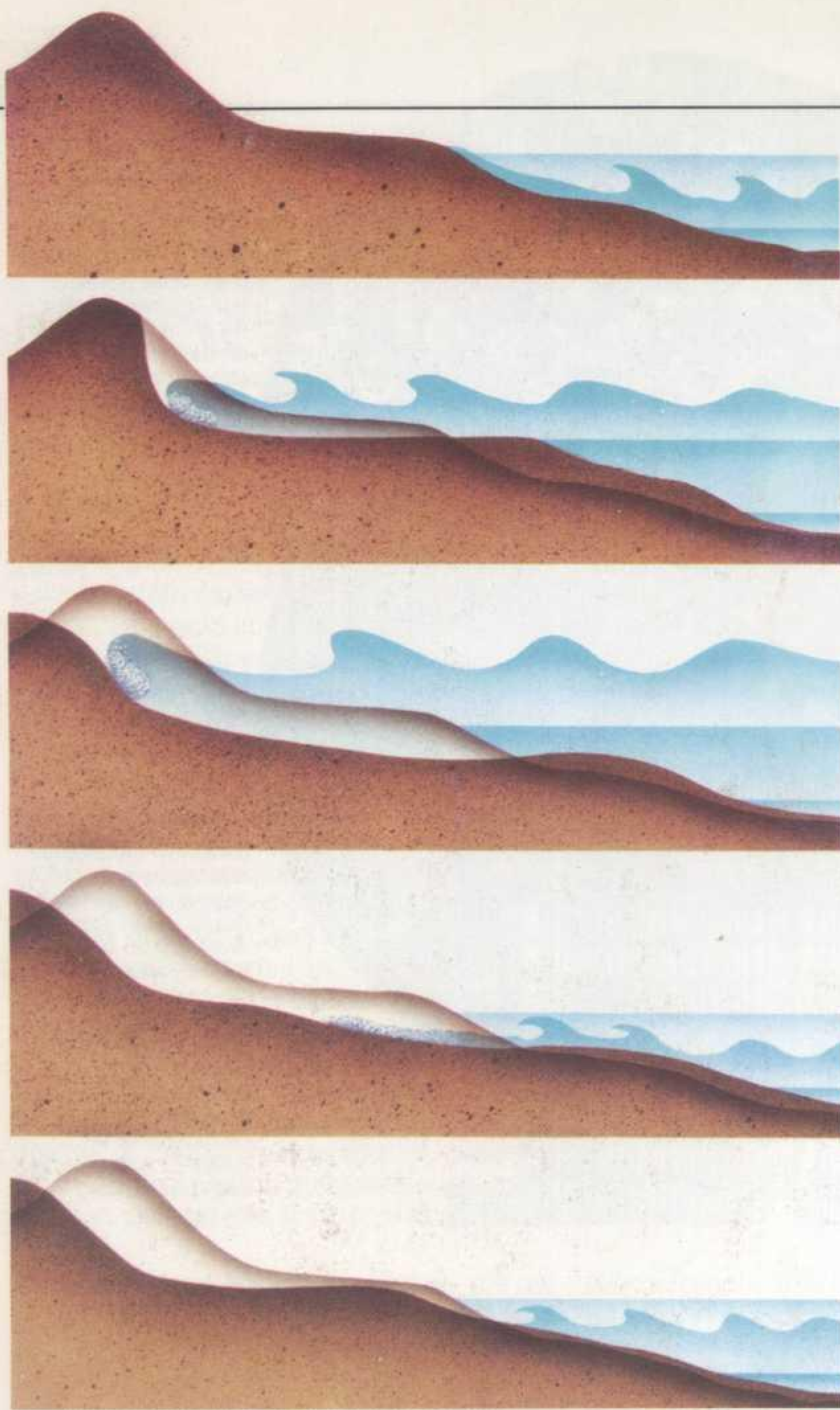








Arriba, a la izquierda, una ola rompiendo en un acantilado. Esta, a medida que se acerca a la roca, va desplazando una bolsa de aire que choca violentamente contra la pared con una fuerza similar a la de un martillo neumático, pudiendo llegar a producir presiones del orden de una tonelada por centímetro cuadrado. Arriba, a la derecha, una *plataforma de abrasión*, resultado de la erosión del acantilado, que en marea baja queda al descubierto. Abajo, →





→ fotografía y representación gráfica de una ola rompiendo oblicuamente a la línea de costa en una playa. Obsérvese la refracción que experimenta al rozar con el suelo arenoso. Paralelamente, los granos de arena van siendo transportados a la línea de costa. Arriba, a la izquierda, formación y retroceso de una duna litoral por acción de las tempestades. Obsérvese cómo a medida que la ola se acerca a la costa y roza con el fondo, su componente vertical se va inclinando hasta que la ola se desploma y rompe. Arriba, a la derecha, malecones perpendiculares a la costa para impedir el oleaje oblicuo que arrastraría arena en una dirección preferente. Abajo, colonia de cangrejos ermitaños *(Eupagurus)* en una playa en bajamar.

Por el contrario, los materiales que encontramos al pie de un acantilado proceden casi en su totalidad de la erosión realizada por el oleaje; son zonas en las que predomina la acción erosiva, existiendo, en cambio, escaso transporte.

Véase **Erosión; Mar; Olas; Ríos**

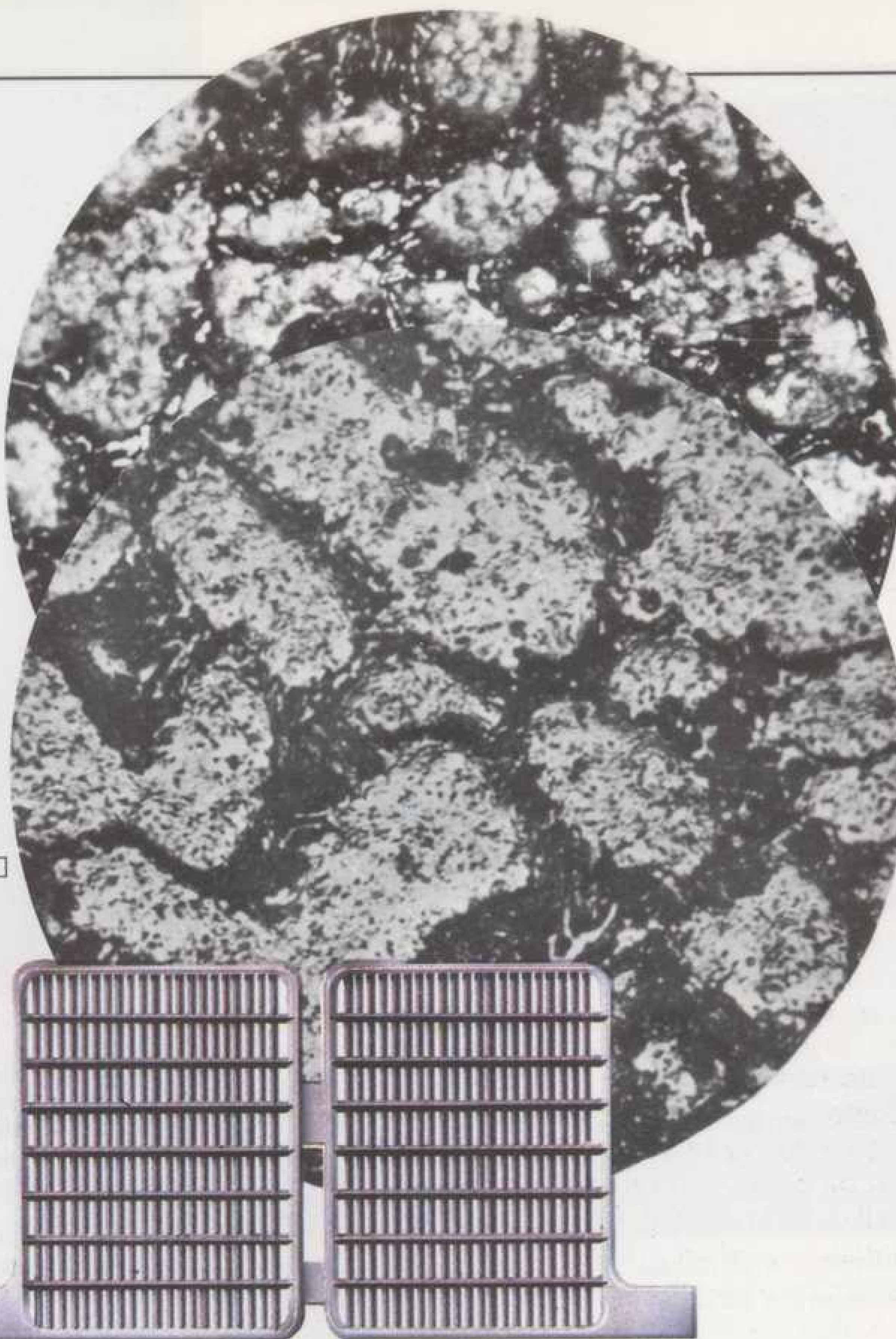
Playas y acantilados A pesar de la complejidad de los factores que influyen en el trazado de las costas, éstas pueden clasificarse, en un sentido amplio, en *acantilados*, zonas donde predomina la erosión, y en *costas arenosas* o *playas*, en las que predomina el transporte de material y la sedimentación. Dentro de estas últimas se incluyen los *deltas* y los "llanos de aluvión inundados" (costas conformadas por la deposición fluvial de elementos arenoso-arcillosos), los *estuarios* (desembocaduras de ríos que en pleamar son invadidas por las aguas y en bajamar dejan al descubierto amplias extensiones arenosas y fangosas), y las *llanuras mareales* (playas de enorme extensión, que en marea alta son cubiertas totalmente por el agua, como el famoso Mont Saint-Michel, en Francia).

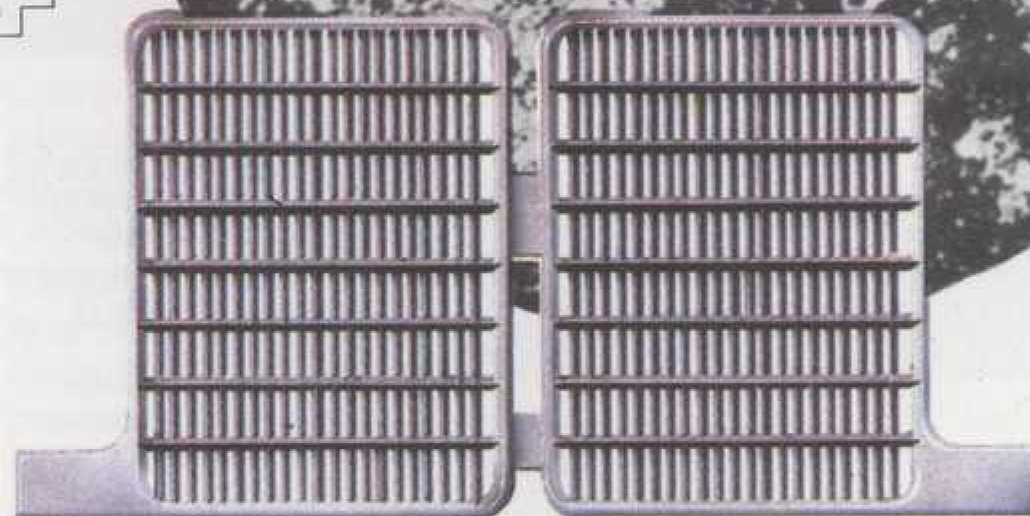
Por lo general, las arenas de las playas son sedimentos marinos formados por los productos de la desintegración y descomposición de los constituyentes de la tierra, por lo que resultan de los fenómenos volcánicos submarinos y terrestres, por la descomposición de los organismos que viven en el mar y por la precipitación de sustancias inorgánicas disueltas en las aguas.



Plomo

NOMBRE	PLOMO
SIMNOLO	Pb
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *Plumbum*
N. ATOMICO	82
PESO ATOMICO	207.19
ESTADO NATURAL	En los minerales galena, cerusita, anglesita, generalmente asociados con minerales de plata y cinc
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	conocido en la antigua Roma
PRODUCCION	tostación y reducción de los minerales
P. f. (°C)	327,4
P. eb. (°C)	1.740
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	11,34
PROPIEDADES Y APLICACIONES	Metal blando, usado en la fabricación de acumuladores, de tuberías, en la producción de plomo tetraetilo y de pigmentos; en aleación con arsénico, estaño y bismuto se usa para el revestimiento de hilos eléctricos y con estaño y antimonio para caracteres de imprenta y para cojinetes antifricción





La aplicación que consume la mayor cantidad de plomo es la fabricación de placas para acumuladores. Bajo estas líneas, a la izquierda, placa de un acumulador, y arriba, microfotografía de plomo utilizado para esta aplicación en aleación con antimonio.

El plomo (del latín *plumbum*) es un metal blando, de color blanco-azulado y que tiene una gran variedad de aplicaciones. Ya los antiguos romanos lo utilizaban en las conducciones hidráulicas de sus villas y ciudades. De aquí deriva el nombre de "plomeros" con que se denomina a los fontaneros en algunos países iberoamericanos.

Además, el plomo fue durante un tiempo un importante ingrediente en la fabricación de muchas pinturas y se añadía también a la gasolina en forma de tetraetilo con el fin aumentar su poder antidetonante, aunque en la actualidad esta práctica se ha desechado por su carácter contaminante. Efectivamente, el plomo produce una acción tóxica acumulativa que ha obligado a sustituirlo por otros elementos en determinadas aplicaciones. El envenenamiento por plomo, llamado antiguamente "saturnismo" (los alquimistas lo asociaban al planeta Saturno), puede provocar graves enfermedades: conducir a la ceguera, parálisis, convulsiones y muerte.

Grupo del carbono El plomo es miembro de una familia de elementos llamada grupo del carbono. Una familia de elementos es un grupo cuyos miembros tienen un comportamiento químico similar. En el sistema periódico (método de clasificación de los elementos según su estructura atómica) los miembros de una misma familia están situados en la misma columna vertical, de forma que la familia, a menudo, toma el nombre del elemento que se encuentra en el primer lugar de la columna. En esta tabla, los miembros del grupo del carbono se encuentran en la columna o grupo 4a, situado a la derecha de la tabla. Además del carbono, esta familia comprende el silicio, el germanio, el estaño y el plomo, que es el más pesado de todos ellos y que se encuentra en el último lugar del grupo.





En la parte inferior de esta página se muestran algunos de los más importantes minerales del plomo. A la izquierda, arriba, la galena, semiconductor usado como diodo revelador en las radios de los primeros decenios del siglo. Tiene un peso específico elevadísimo para un mineral: 7,5. En el centro, cerusita, un carbonato de plomo (la galena es un sulfuro). A la derecha, anglesita, sulfato de plomo.

El grupo del carbono es una familia no muy bien definida. El primer elemento de la lista, el carbono, no es un metal. El silicio y el germanio son metaloides. Sólo el estaño y el plomo son auténticos metales. El germanio, el estaño y el plomo son blandos, tienen bajos puntos de fusión y no son muy activos químicamente. Entre ellos, el plomo es el más blando y el más pesado. Muchas de sus aplicaciones derivan de estas propiedades.

Aplicaciones La combinación de su elevada densidad (más de once veces superior a la del agua) y unos costes de obtención relativamente bajos explica que el plomo haya sido utilizado tradicionalmente para fabricar pesas, contrapesos y lastres. Por su bajo punto de fusión se usa para hacer aleaciones para soldar, es decir, compuestos metálicos fácilmente fusibles utilizados a modo de cemento para mantener unidas piezas de metal. Al ser muy blando, es muy maleable y fácil de trabajar. Por su escasa actividad química, el plomo se usa para construir contenedores para muchas sustancias, como ciertos ácidos, que atacarían rápidamente otros materiales. El carbonato básico de plomo, un compuesto de plomo, carbono, oxígeno e hidrógeno, es un ingrediente importante en la fabricación de pigmentos para pinturas (como el albayalde, pigmento blanco; el minio, anaranjado; el cromato, amarillo, etc.). Varios compuestos del plomo con el oxígeno son usados también como pigmentos para pinturas y para la fabricación del vidrio.

El plomo metálico es usado para proteger al personal y a los instrumentos de las peligrosas radiaciones de alta energía que producen las sustancias radiactivas; igualmente, se utiliza para la protección del personal encargado del manejo de aparatos de rayos X. En aleación con antimonio y estaño es utilizado como *metal de imprenta*.

Envenenamiento por plomo Cuando los compuestos de plomo penetran en el sistema hídrico humano, pueden producir envenenamientos. Se han dado casos en que los niños han sufrido envenenamientos por plomo a consecuencia de haber ingerido pintura. La gasolina adicionada con plomo libera compuestos volátiles de plomo cuando se quema. Esos compuestos pueden depositarse a continuación en el terreno y pueden llegar incluso a contaminar la capa acuífera.

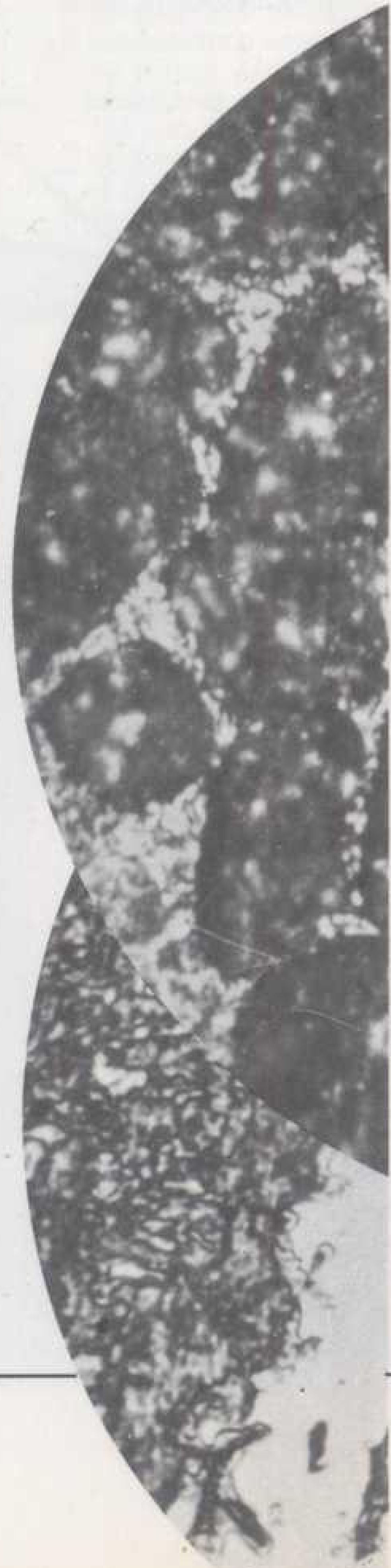
Hasta hace relativamente poco tiempo el envenenamiento por plomo era una enfermedad profesional padecida por los obreros que trabajaban en las fábricas de tuberías, de vidrio, de pinturas y de otras muchas industrias en que tiene aplicaciones este metal.

Véase **Aleación; Estaño; Metales; Tabla periódica de elementos**

Abajo, algunas aplicaciones típicas del plomo, como el apantallamiento de radiaciones ionizantes: arriba, una bata para radiólogo y, abajo, puerta que aísla de las radiaciones. A la derecha de estas líneas, arriba, aleación para la fabricación de caracteres de imprenta (la utilización del plomo con este fin ha disminuido mucho). Se ven dos aleaciones al microscopio metalográfico: arriba, el tipo de plomo con el 5% de estaño y el 14% de antimonio; abajo, otra aleación con los mismos aditivos, pero en proporción mucho menor. En las aleaciones para imprenta se puede llegar al 13% de estaño y al 28% de antimonio. Una aleación de plomo con un 5% de arsénico se utiliza para fabricar perdigones y metralla. También contienen plomo otras importantes aleaciones, como son el babbitt y el oeltre. Abajo, metalografías de aleaciones antifricción para cojinetes.







Pluma estilográfica

En Europa, desde el año 600 a. de C., aproximadamente, hasta comienzos del siglo XIX, se utilizaban para escribir plumas de oca. Sin embargo, la utilización de este tipo de pluma resultaba poco práctica —había que mojar continuamente la pluma en el tintero y, además, se deterioraban muy fácilmente—, por lo que la invención de la pluma estilográfica supuso un gran avance.

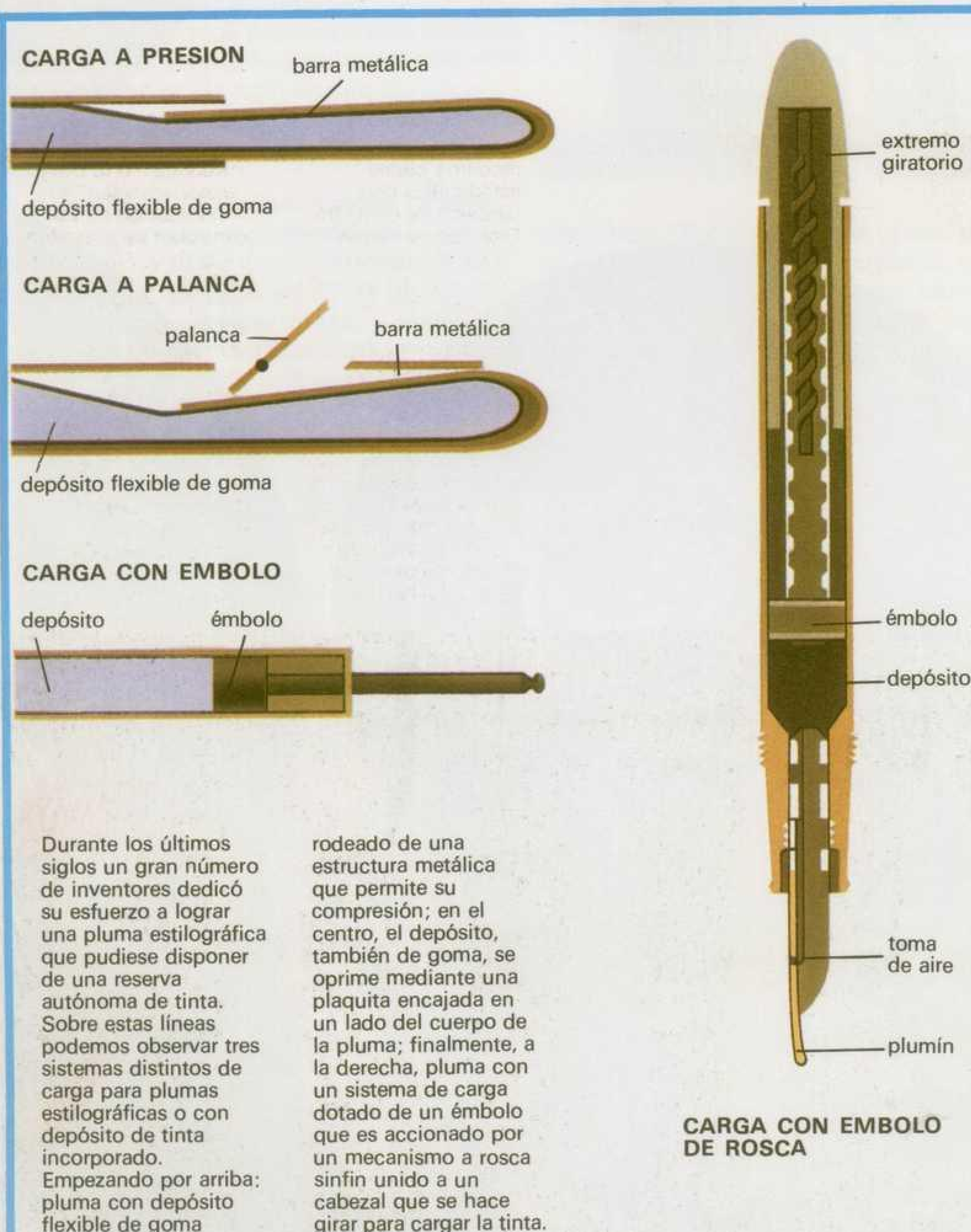
En un principio, se denominaba pluma estilográfica a cualquier instrumento apto para escribir que contuviese una reserva de tinta. En la actualidad, sin embargo, sólo se da este nombre a las plumas que terminan en una punta seccionada o plumilla metálica.

La idea de una pluma con su propia reserva de tinta tuvo su origen en Francia a mediados del siglo XVII, aunque no se llevó a la práctica hasta el siglo XIX (el depósito era llenado manualmente con un cuentagotas). Sin embargo, estas primeras plumas eran poco prácticas porque debían ser cargadas frecuentemente y la tinta se volvía espesa. La primera pluma estilográfica moderna fue inventada en 1884 por L. E. Waterman, que ha dado su nombre a una famosa marca de plumas.

Partes y funcionamiento Una pluma estilográfica está constituida por: un plumín, plumilla o punta metálica —generalmente de acero— para escribir; un depósito que contiene la tinta; un pequeño canal que conduce la tinta desde el depósito al plumín; un sistema de alimentación para regular el flujo de la tinta; una envoltura cilíndrica o mango donde se halla el depósito de la tinta y una capucha para proteger el plumín.

El depósito de la tinta es recargable y consta de un pequeño tubito flexible de goma situado dentro de una estructura metálica. Cuando se alza una palanquita o se oprime el depósito con los dedos, la tinta se introduce por succión en el tubo de goma. El canal que comunica el plumín con el depósito está provisto de un sistema de regulación que permite a la tinta descender en la cantidad necesaria para obtener una escritura fluida.

Por detrás del plumín hay un trozo de goma dura o de plástico con una o varias ranuras que sirven también para regular el flujo de la tinta, reteniendo cualquier cantidad en exceso que fluya del depósito. La escritura se produce al ir deslizando la plumilla sobre el papel y descender la tinta por ella. El capuchón sirve para proteger de los golpes al plumín y para evitar la evaporación de la tinta, así como eventuales pérdidas de ésta. En las primeras plumas estilográficas el capuchón y la envoltura externa estaban hechos de ebonita; ahora suelen fabricarse de plástico. Algunas plumas de lujo son de oro (de 14 a 18 quilates) con punta de osmio-iridio, o de acero inoxidable.



Durante los últimos siglos un gran número de inventores dedicó su esfuerzo a lograr una pluma estilográfica que pudiese disponer de una reserva autónoma de tinta. Sobre estas líneas podemos observar tres sistemas distintos de carga para plumas estilográficas o con depósito de tinta incorporado. Empezando por arriba: pluma con depósito flexible de goma rodeado de una estructura metálica que permite su compresión; en el centro, el depósito, también de goma, se oprime mediante una plaquita encajada en un lado del cuerpo de la pluma; finalmente, a la derecha, pluma con un sistema de carga dotado de un émbolo que es accionado por un mecanismo a rosca sinfín unido a un cabezal que se hace girar para cargar la tinta.

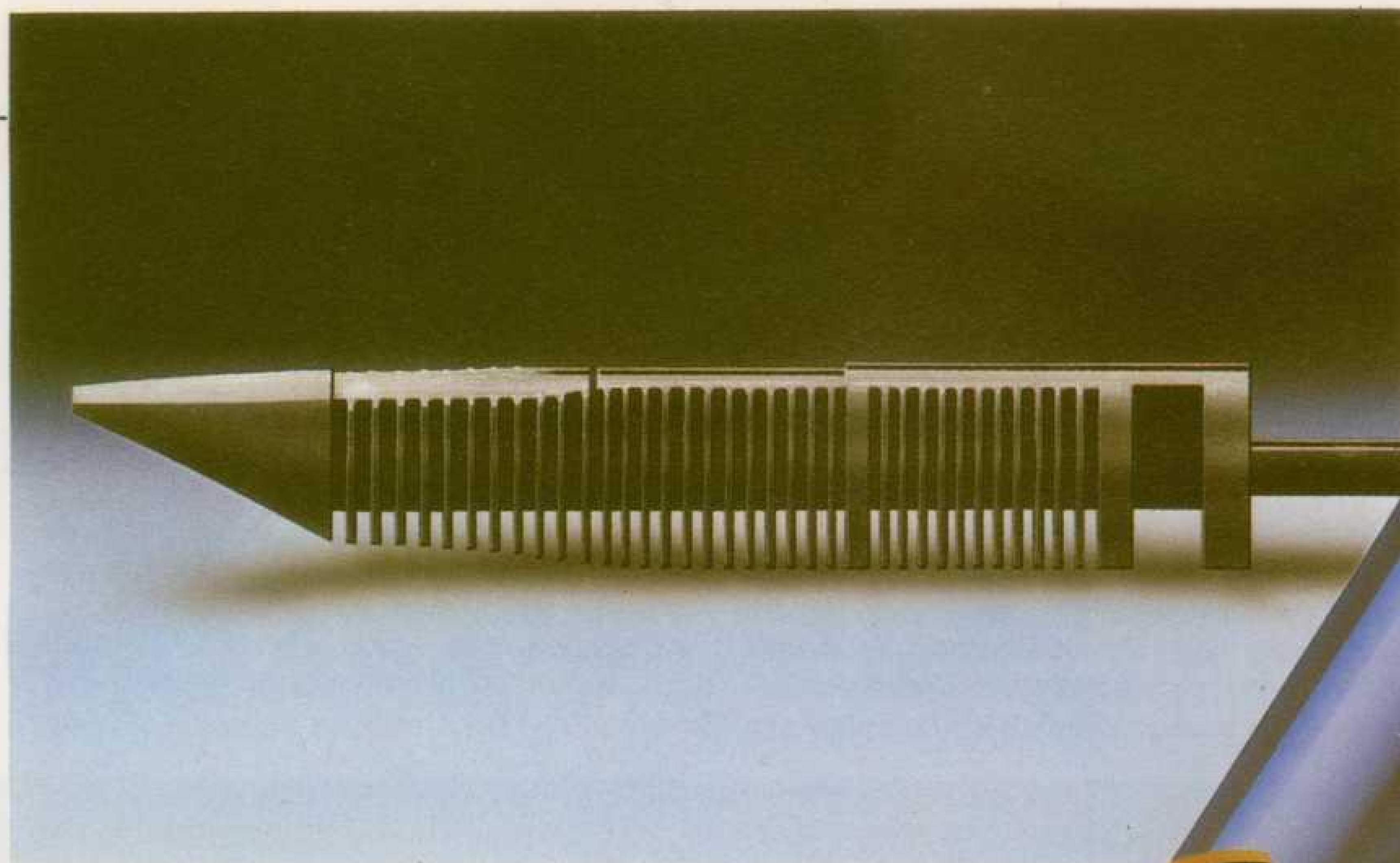
Evolución e innovaciones Muchas veces, la recarga del depósito se dificulta debido a que las tintas se secan y pierden fluidez. En 1956 se inventó una nueva pluma estilográfica que no requería de ninguna operación mecánica para su carga; en efecto, la nueva pluma contaba con un sistema de capilares internos capaces de absorber la tinta y conducirla sin ayuda al depósito. Sin embargo, el gran momento en la historia de la pluma se alcanza con la invención de los cartuchos de tinta, simples depósitos desechables que se acoplan directamente en el sistema de alimentación. Este último es, actualmente, el sistema más utilizado por su sencillez.

Producción La fabricación de plumas estilográficas comprende una serie de operaciones especializadas tales como el moldeado por inyección, el corte, el diseño, la estampación, la perforación a punzón, la incisión, el cinzallado, el pulido, el recocido y el decapado. Muchas de estas operaciones deben ser hechas a mano. Las envolturas exteriores de plástico son producidas en serie: grandes cantidades de plástico son moldeadas en forma de largos tubos por una máquina; estos tubos son cortados a la longitud deseada y, a continuación, sellados por uno de los extremos ya sea por medio de calor, ya sea metiendo el tubito en un molde o bien montando un cierre. Estos cierres, hechos con un torno, son fijados al tubito (externa o internamente) con acetona. El último paso es la adecuada transformación del tubito, que ya ha sido cerrado por un extremo, en el cuerpo externo de la pluma. Finalmente las envolturas de plástico y los capuchones (también producidos en serie) deben ser sometidos al endurecimiento de su superficie mediante cocción en horno a una temperatura de 43-44 °C, durante un período de dos a diez días.

Tintas Las tintas utilizadas en la actualidad en las plumas estilográficas están hechas principalmente a base de colores sintéticos y de agua. Normalmente se añaden sales de hierro para hacerlas más duraderas; otros aditivos impiden que se seque, que se formen hongos o algas y que el metal de la pluma se corroa.

Los ingredientes de la tinta varían según el fabricante. Por lo general, las tintas no deben mezclarse, pues al hacerlo pierden sus cualidades de fluidez, y como consecuencia, pueden obstruir el sistema de alimentación.

Véase **Bolígrafo**



Arriba, un dispositivo fundamental en las plumas estilográficas: el sistema de acanalado sobre el que se apoya el plumín y por el cual desciende la tinta desde el depósito sin que exista el peligro de que se derrame, ya que es retenida por efecto de la tensión superficial. La ranura situada por detrás del plumín impide que la tinta, bajo presión, gotee.

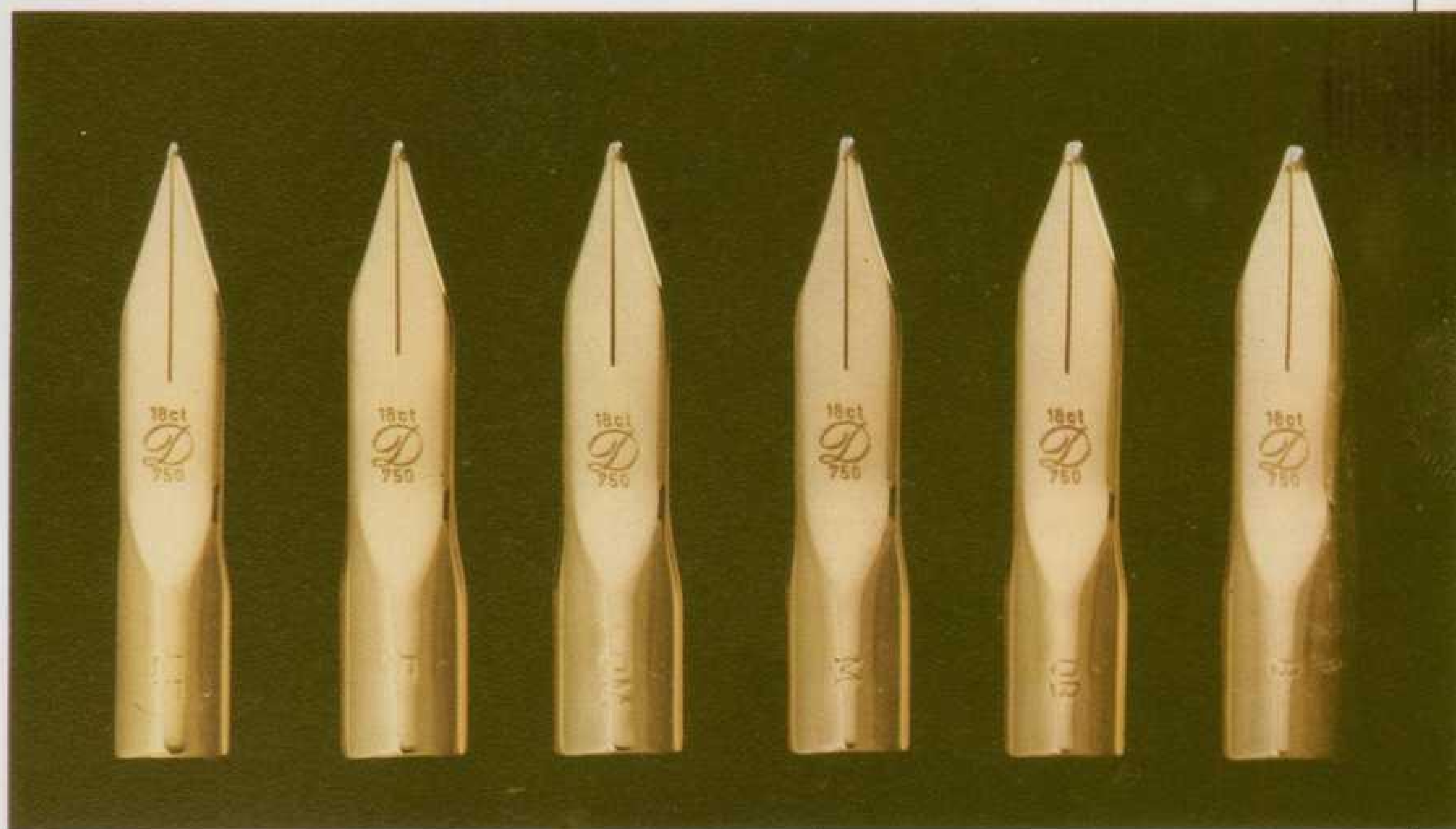
cuerpo de la pluma

cartucho

sistema de alimentación

toma de aire

A la izquierda, una moderna pluma estilográfica con repuesto de cartucho. Este tipo de pluma contiene su reserva de tinta en un pequeño cartucho de plástico que se ajusta perfectamente en el interior del tubo cuando el repuesto precedente se ha consumido. En el tubo se coloca un segundo cartucho de recambio que renueva la reserva de tinta. Por otra parte, la falta de mecanismos ofrece mayor espacio. Esto se ha hecho posible al haber sido introducida una cierta "estandarización" en la fabricación de los cartuchos de recambio de la tinta. Abajo, una serie de plumines de oro para pluma estilográfica: el mayor o menor grosor de sus puntas (a la izquierda la más fina, a la derecha la más gruesa) determina la finura de la escritura. Las puntas, de distinta dureza, suelen fabricarse con aleaciones de oro y otros metales: osmio e iridio.



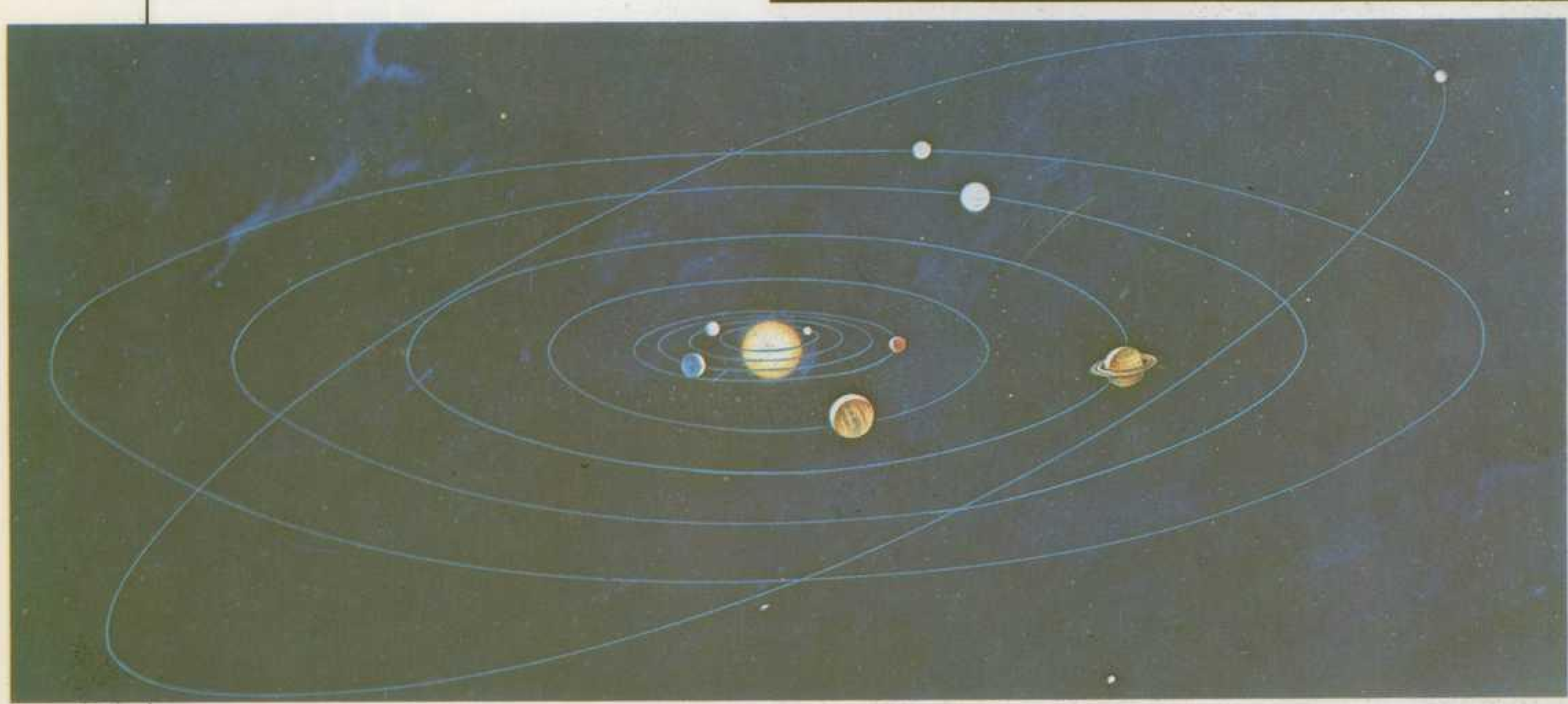
Plutón

En los confines más extremos de nuestro Sistema solar hay algo que no funciona como debiera. El noveno planeta, Plutón, cuya distancia al Sol es de 5.900 millones de kilómetros, no se comporta en realidad como corresponde a un planeta típico. Está tan alejado de la Tierra que, ni aún con los más grandes y potentes telescopios, pueden obtenerse imágenes claras de él, pero, por lo que se ha podido observar, Plutón presenta unas características un tanto peculiares.

Qué sabemos acerca de Plutón Una de las primeras cosas que los astrónomos notaron cuando, en 1930, fue descubierto es que la órbita de Plutón se encontraba muy inclinada con respecto al plano de la eclíptica. Desplazándose por el espacio a una velocidad de 12,17 km por segundo, Plutón cumple una revolución completa alrededor del Sol cada 247,7 años terrestres. Es el único planeta que describe una órbita con una inclinación de 17° respecto al plano orbital medio de los otros planetas. Existe, además, otra importante característica que lo hace destacar del resto de los planetas: mientras que el eje de rotación de cada uno de éstos suele ser aproximadamente perpendicular a su correspondiente plano orbital, el eje de rotación de Plutón (también el de Urano) es casi horizontal y paralelo al plano orbital, dando, como consecuencia, la sensación de que el planeta "rueda" sobre la imaginaria curva de su órbita.

Plutón, cuyo nombre evoca al dios griego de las tinieblas, es en efecto un inmejorable arquetipo del reino de los muertos, donde el concepto temporal del día y de la noche está distorsionado, y las condiciones metereológicas son siniestras. Al igual que sus dos planetas vecinos, Neptuno y Urano, Plutón es un gran globo gaseoso, constituido por vapores, fluido y hielo; es decir, presenta una configuración muy distinta a la de la Tierra, que es sólida y compacta. La mayor parte de las fotografías obtenidas de Plutón son tan confusas que ha resultado imposible destacar ninguna característica topográfica de su superficie. Esta se encuentra totalmente cubierta por capas estratificadas de metano y amoniaco congelados. La masa de Plutón, determinada a partir de la intensidad de las perturbaciones que provoca en las órbitas de sus planetas vecinos, es de 1,0 ± 0,20 veces la de la Tierra. Sus dimensiones son difíciles de establecer, ya que su envoltura gaseosa resulta impenetrable, incluso, para los más potentes telescopios. A pesar de ello, Kuiper estimó, mediante un ingenioso sistema, que el diámetro de Plutón equivalía al 46% del de la Tierra, es decir, que su volumen tendría que ser algo inferior a la décima parte del volumen de nuestro planeta.

Con una masa igual a la de la Tierra y un volumen 10 veces inferior, su densidad tendría que ser 10 veces mayor que la te-



En la ilustración grande, entre las dos páginas, se muestra una vista hipotética de la pareja planetaria Plutón-Caronte. Sobre estas líneas, un croquis del Sistema solar; con el fin de poder representar a todos los planetas que lo constituyen, no se ha respetado la escala de sus verdaderas dimensiones. Destaca la gran inclinación (17°) del plano orbital de Plutón. En la página siguiente, dos fotografías de la misma región estelar, tomadas con un intervalo de varios días, y que nos muestran el desplazamiento experimentado por el planeta (señalado por una flecha).

rrestre, valor éste muy difícil de aceptar. Aunque las dimensiones de Plutón son todavía inciertas, si el diámetro determinado es el correcto, la masa requerida para que la densidad se encuentre dentro de unos límites razonables debería ser 10 veces inferior a la de la Tierra. Sobre la superficie, hay una atmósfera irrespirable, formada por gases como el argón y el neón, ambos químicamente inertes y, por lo tanto, incapaces de combinarse con otros gases para dar lugar a aquellos compuestos químicos necesarios en la evolución de cualquier forma de vida. Un día de Plutón equivale a casi seis días y medio terrestres.

El compañero de Plutón El único satélite de Plutón hasta ahora conocido fue descubierto en 1978. Se le bautizó con el nombre de Caronte, nombre dado en la mitología griega al barquero de los infiernos, encargado de transportar las almas a través de la laguna Estigia. La órbita de Caronte está muy próxima a la superficie de Plutón, a una distancia de 19.300 km, casi 22 veces inferior a la existente entre la Tierra y la órbita de la Luna. Caronte es tan semejante a Plutón que gira a su alrededor con la misma velocidad con que éste rota sobre su eje: es decir, cumple un giro completo alrededor de Plutón cada 6,4 días. De hecho, en las fotografías obtenidas del sistema da la sensación de que Caronte fuera una extensión o apéndice del propio Plutón. El satélite está siempre situado sobre el mismo hemisferio de su planeta.



El descubrimiento de Plutón Plutón es el segundo planeta, después de Neptuno, que fue descubierto porque se le buscaba. A finales del siglo XIX y principios del XX, los astrónomos mostraban gran inquietud por no lograr explicar ciertas irregularidades en los movimientos orbitales de Urano y Neptuno. En 1915, el astrónomo americano Percivall Lowell sugirió, como origen de estas perturbaciones, la existencia de un planeta aún más lejano. Sobre esta hipótesis, publicó una serie de ecuaciones matemáticas en las que se demostraba cómo la masa de este planeta, determinada a partir de las perturbaciones, podía ejercer una atracción sobre Neptuno y Urano capaz de desviarlos ligeramente de sus órbitas genuinas. El mismo Lowell comenzó la búsqueda del misterioso planeta X, aunque sin resultados.

En 1930, Clyde W. Tombaugh, un joven astrónomo que trabajaba en Flagstaff, Arizona, se dedicó a estudiar la zona del firmamento donde Lowell había previsto la posición del nuevo planeta; utilizando un telescopio especialmente construido para este fin (comparador de las fluctuaciones luminosas), fotografió durante varios días consecutivos la misma zona del espacio. Al compararlas, con el fin de distinguir alguna anomalía o algún cuerpo celeste extraño, Tombaugh encontró, finalmente, el enigmático planeta, al que dio el nombre de Plutón.

Sin embargo, el descubrimiento de Plutón no puso fin a todos los problemas: el nuevo planeta resultó ser más pequeño de lo que se pensaba (se calculó un diámetro de 5.600 km) y, en consecuencia, las ecuaciones de Lowell ya no resolvían satisfactoriamente las anomalías observadas. Un especialista en mecánica celeste, E. W. Brown, demostró que las medidas sobre la intensidad de las perturbaciones eran erróneas. La influencia que Plutón ejercía sobre los movimientos orbitales de los otros planetas era menor de lo que pensaban los astrónomos. Todas estas controversias hicieron de Plutón un nuevo misterio. Por su masa, sus dimensiones y su movimiento, Plutón se asemeja más a los satélites de Júpiter y Saturno que a los otros planetas menores, como Mercurio y Marte. Tiene más parecido con Caronte que con Urano y Neptuno, de cuyos campos de influencia gravitatoria se piensa que Plutón logró escapar hace mucho tiempo. En efecto, Plutón cruza la órbita de Neptuno en su perihelio (la posición de la órbita más próxima al Sol), fenómeno este que se repetirá próximamente, en 1989. La semejanza entre Plutón y Caronte ha inducido a los astrónomos a teorizar sobre un "planeta doble", e incluso, sobre un "asteroide doble".

Véase **Planetas; Sistema solar**

Plutonio

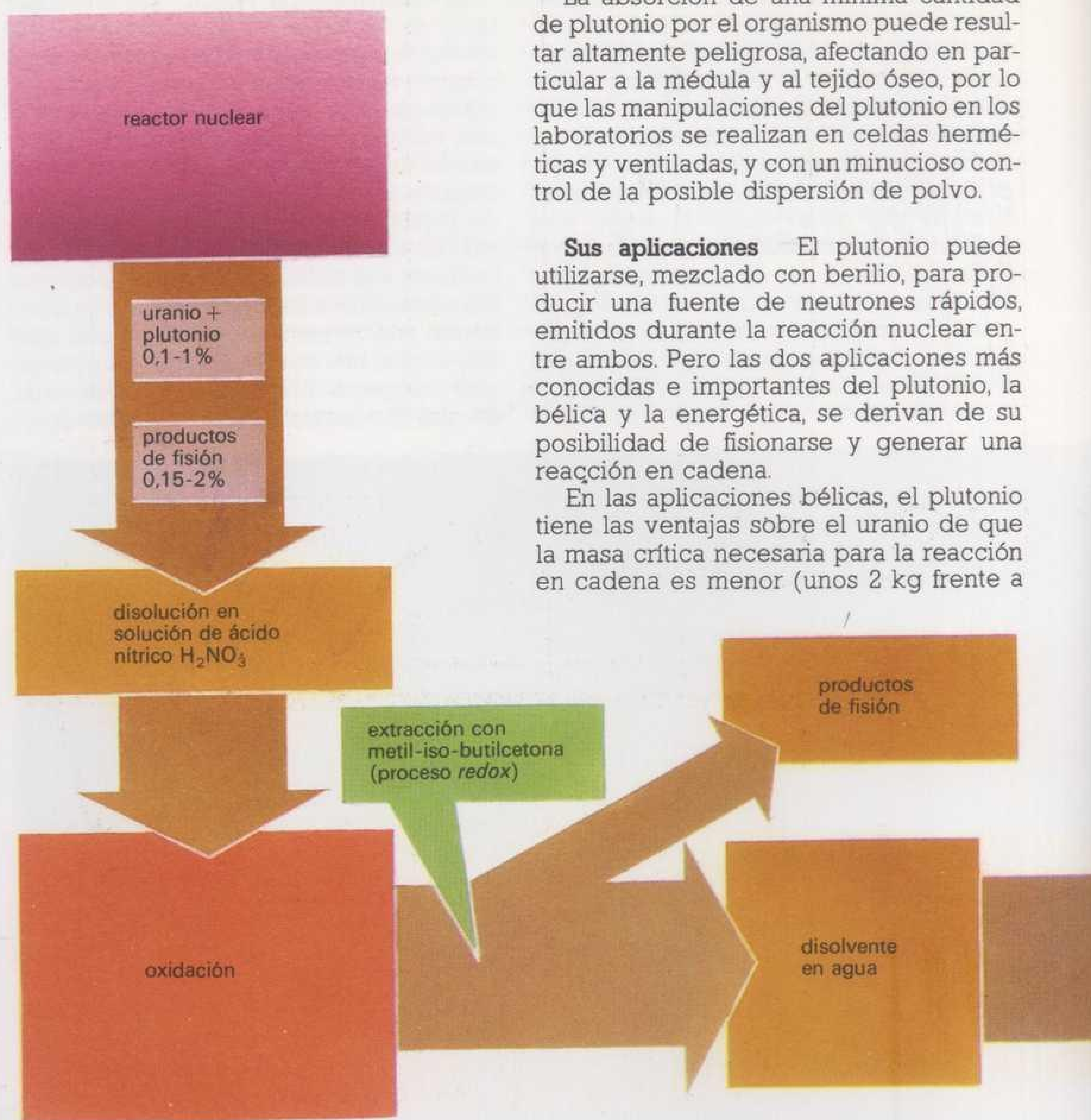
NOMBRE	PLUTONIO
SIMNOLO	Pu
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de Plutón, dios de los infiernos
N. ATOMICO	94
PESO ATOMICO	—
ESTADO NATURAL	no existe en estado natural
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	G. T. Seaborg, E. M. MacMillan y colaboradores
PRODUCCION	en los reactores nucleares
P. f. °C	640
P. eb. °C	—
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	19,82
PROPIEDADES Y APLICACIONES	elemento radiactivo artificial perteneciente a la serie de los actínidos, usado como combustible y como material fisionable para armas nucleares

El plutonio es uno de los elementos químicos conocidos de mayor toxicidad radiológica por incorporación al organismo. La inhalación de menos de un miligramo de polvo de plutonio supone una dosis letal. Sin embargo, en forma no dispersable puede manipularse sin excesivo blindaje, dado que la radiación que emite es alfa (inocua como irradiación externa) y gamma de débil energía.

El plutonio sólo se encuentra en la Naturaleza en ínfimas proporciones en los minerales de uranio (1 miligramo por cada 10.000 toneladas), donde se produce por ciertas reacciones nucleares espontáneas. Fue descubierto en 1940 al bombardear uranio con neutrones relativamente lentos, producidos en un ciclotrón por la acción de deuterones acelerados sobre berilio; en la práctica, se produce por irradiación neutrónica del uranio en los sectores nucleares de fisión.

Por ser el plutonio de la misma familia química del uranio (la familia de actínidos de la Tabla periódica de los elementos), sus propiedades son parecidas. Tiene apariencia argéntea, se oxida en el aire muy rápidamente (con humedad o temperaturas elevadas) y en polvo es pirofórico, es decir, inflamable a temperatura ambiente. Es un conductor mediocre del calor y de la electricidad y produce numerosas aleaciones metálicas y compuestos químicos.

La radiactividad del plutonio Exiten tres clases de emisiones radiactivas, denominadas alfa, beta y gamma, que proceden del interior de los núcleos energéticamente inestables de los átomos emisores y que consisten en corpúsculos cargados eléctricamente, las dos primeras, y en radiación propiamente dicha la emisión gamma. Las partículas alfa, de masa relativa 7.350 veces superior a la de las beta y de doble carga eléctrica positiva, son las que producen mayor efecto físico-biológico si su emisor está en íntimo contacto con tejidos vivos, es decir, incorporados al interior del organismo. En cambio, si el emisor es exterior a él, las partículas alfa no son capaces de atravesar las capas más externas de la piel, ya que su recorrido en el tejido humano es de unas decenas de micras, por lo que no tienen efecto biológico alguno.



Los principales isótopos del plutonio son el plutonio-239, que es el más importante y el que se produce en mayor abundancia a partir de la irradiación neutrónica del uranio-238 en los reactores nucleares, originándose sucesivamente uranio-239 y neptunio-239, ambos de vida muy corta, para revertir finalmente en plutonio-239; el plutonio-240, que se origina por irradiación neutrónica del propio plutonio-239; el plutonio-241 y el plutonio-242, ambos originados asimismo por irradiación neutrónica sucesiva. Son principalmente emisores de partículas alfa y también de radiación gamma de energía débil, estando comprendidos sus períodos de semidesintegración entre los 13 años del isótopo 241 y los 380.000 años del 242. El período de semidesintegración del plutonio-239 es de 24.300 años, lo que le hace prácticamente estable a efectos de su actual utilización, y lo que, por otra parte, justifica la desaparición del plutonio que pudo existir en la Naturaleza en otras eras geológicas.

La absorción de una mínima cantidad de plutonio por el organismo puede resultar altamente peligrosa, afectando en particular a la médula y al tejido óseo, por lo que las manipulaciones del plutonio en los laboratorios se realizan en celdas herméticas y ventiladas, y con un minucioso control de la posible dispersión de polvo.

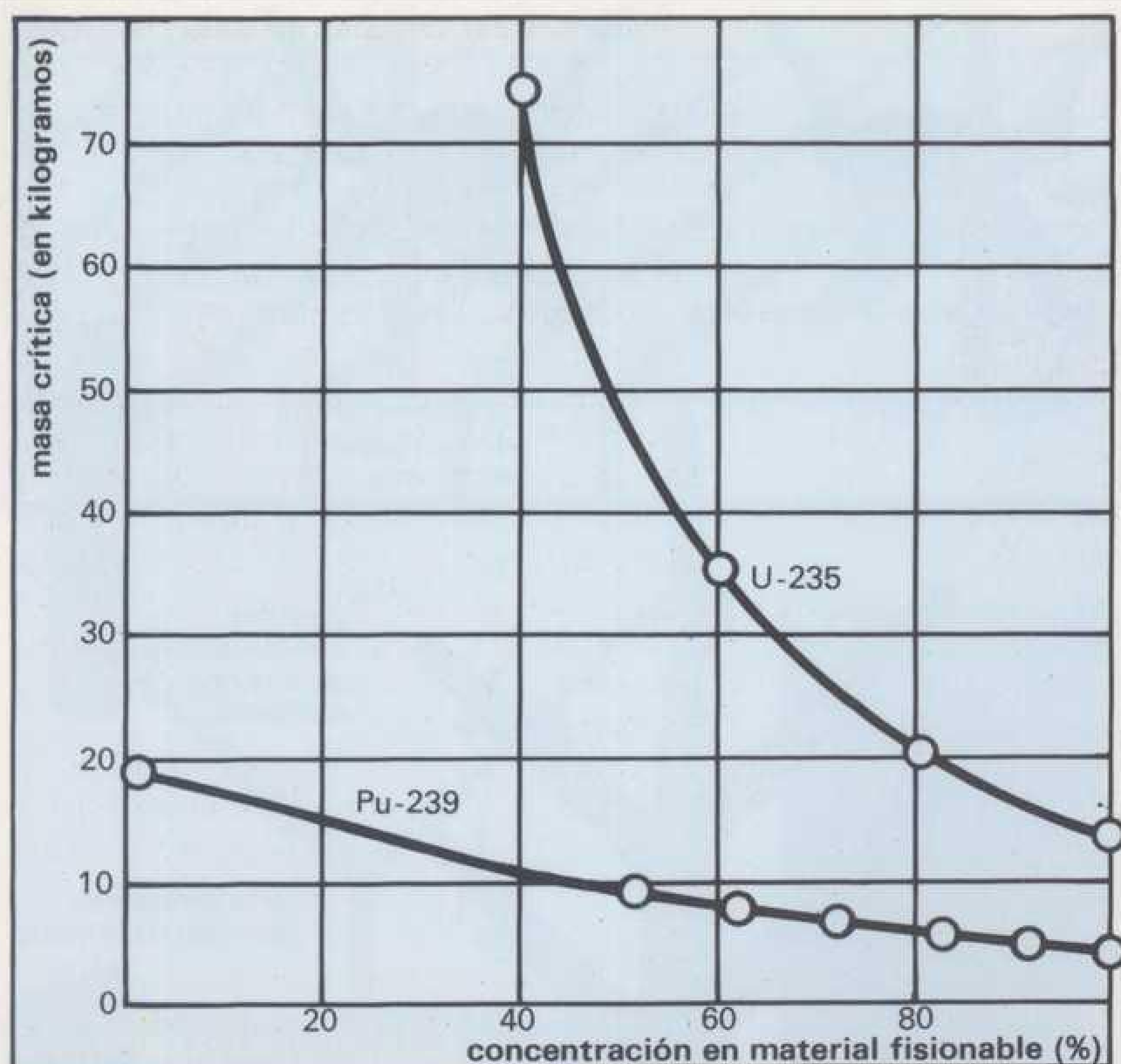
Sus aplicaciones El plutonio puede utilizarse, mezclado con berilio, para producir una fuente de neutrones rápidos, emitidos durante la reacción nuclear entre ambos. Pero las dos aplicaciones más conocidas e importantes del plutonio, la bélica y la energética, se derivan de su posibilidad de fisionarse y generar una reacción en cadena.

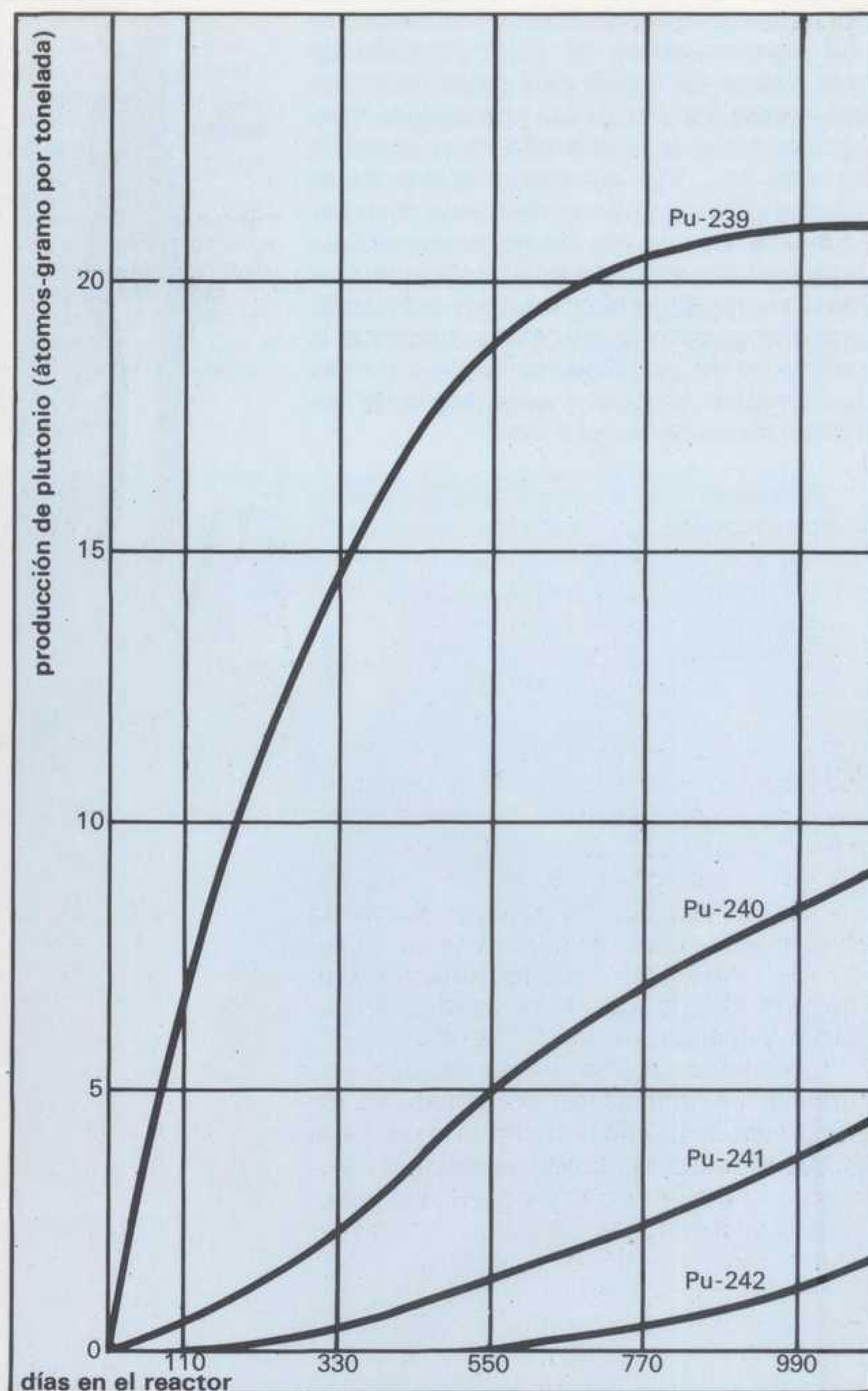
En las aplicaciones bélicas, el plutonio tiene las ventajas sobre el uranio de que la masa crítica necesaria para la reacción en cadena es menor (unos 2 kg frente a 5 kg de uranio), y de que el plutonio puede obtenerse en las elevadas concentraciones de enriquecimiento isotópico más fácilmente que el uranio, ya que el uranio fisible, el isótopo 235, va siempre acompañado de gran cantidad de uranio-238, no fisible, y la separación isotópica de ambos es muy costosa.

En cuanto a las aplicaciones energéticas, el acopio de plutonio, derivado de la ya amplia generación de centrales nucleares en funcionamiento en el mundo, ha permitido el desarrollo de los primeros prototipos de reactores rápidos regeneradores, en los que se fisiona plutonio y se obtiene simultáneamente más cantidad de plutonio, a partir de material fértil de uranio. De esta forma puede multiplicarse por un factor de 60 el aprovechamiento de la energía interna del uranio natural.

La primera central nuclear de plutonio de gran potencia es la del reactor francés *Superphenix*, cerca de Lyon. El elevado costo y gran complejidad de esta tecnología no inhibirá probablemente el desarrollo de otras tecnologías energéticas nucleares, como es la destinada a obtener energía a partir de la fusión atómica.

Véase **Bomba atómica; Central nuclear; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Masa crítica; Radiactividad; Radiación; Uranio**





lavado

tratamiento con nitrato de aluminio y con un agente débilmente reductor

uranio en el disolvente en forma de $UO_2(NO_3)_2$

plutonio en estado acuoso, en forma de $Pu(NO_3)_3$

insoluble

oxidación

extracción con metil-iso--butilcetona

plutonio puro

El diagrama, en ambas páginas, ilustra el método más común para la producción de plutonio. Del reactor nuclear de fisión se obtiene una mezcla de uranio y plutonio y un residuo de productos de fisión que interesa eliminar. Para ello se efectúa una disolución en ácido nítrico y se someten ambos, mezcla y producto de fisión, a un proceso de oxidación. Mediante metil-iso-butilcetona se efectúa la extracción de la mezcla y la separación de los residuos de fisión. La mezcla, una vez lavada en agua, se somete a tratamiento con nitrato de aluminio y con un agente débilmente reductor, obteniéndose así la separación del uranio, que permanece en el disolvente, mientras que el plutonio queda suspendido en la fase acuosa insoluble. Se vuelve a oxidar y nuevamente se trata el plutonio con metil-iso-butilcetona: resulta plutonio puro.

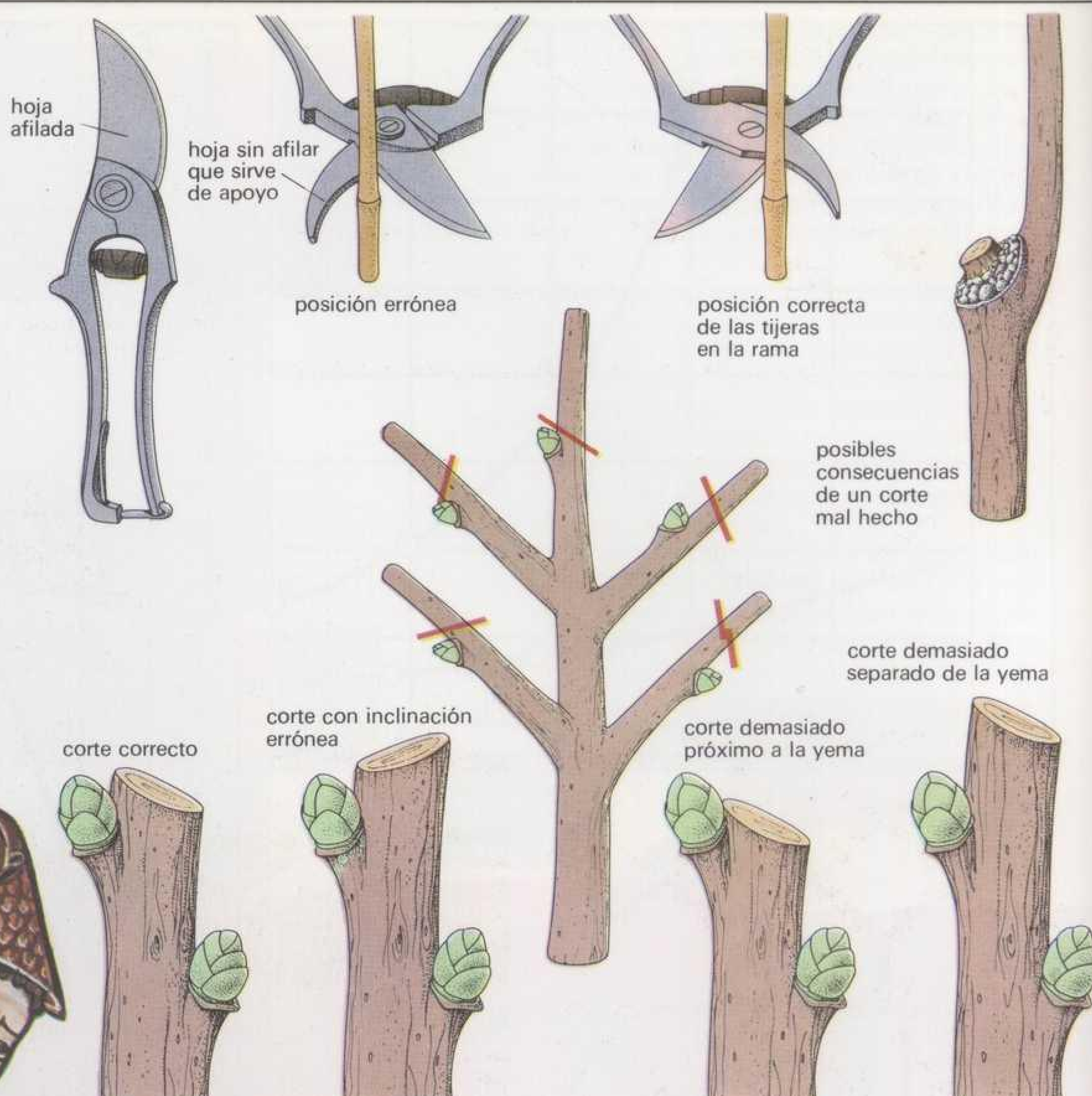
En el diagrama superior de la izquierda está reflejada la variación de la masa crítica en kilogramos, esto es, la cantidad mínima de material fisionable en la cual se puede iniciar una reacción en cadena, respecto a la concentración porcentual del material fisionable, para los dos elementos, plutonio y uranio. Como se observa, la variación es netamente menor para el plutonio. El diagrama de la derecha ilustra la producción de plutonio en un reactor de uranio, en relación al número de días de funcionamiento, expresada en átomos-gramo por tonelada de combustible.

Poda

La poda, o eliminación sistemática de ciertas partes de la vegetación de una planta para que ésta fructifique con más vigor, es una de las principales operaciones que se realizan en los cultivos. En el caso de la vid, por ejemplo, la poda es fundamental para la calidad de la cosecha. Consiste en el corte de ramas superfluas o sarmientos y partes muertas o enfermas de la planta, con el fin de favorecer su crecimiento, controlar su forma o aumentar la calidad y el rendimiento de la cosecha. Las técnicas de poda varían según las características de las plantas.

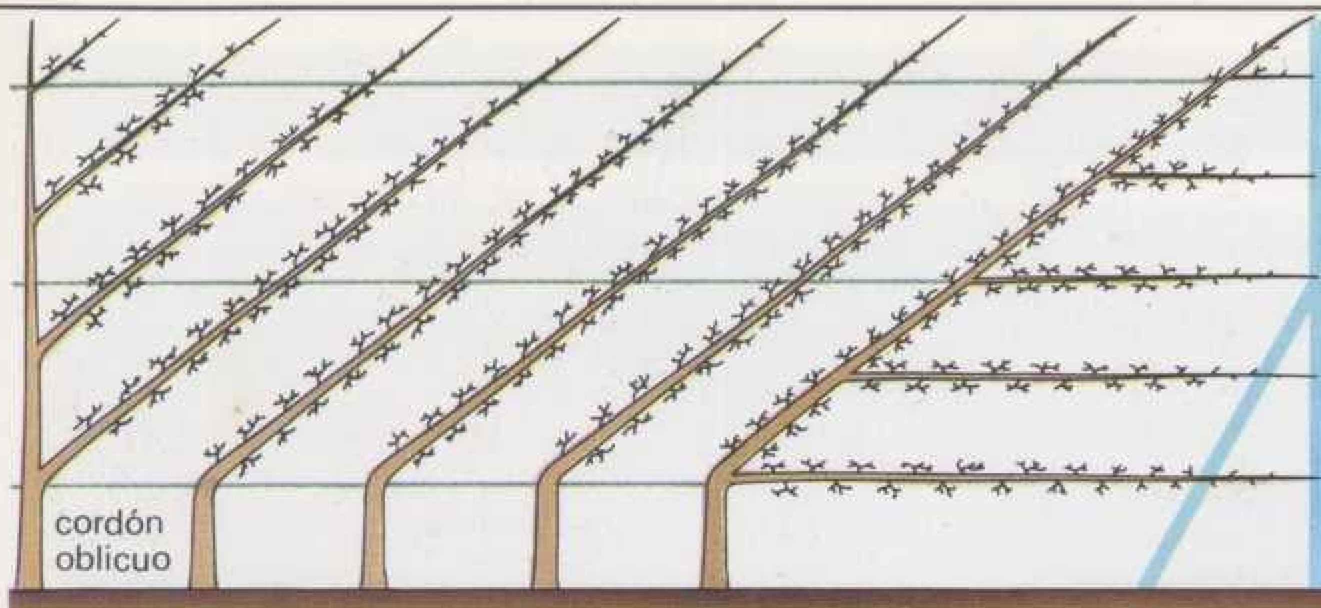
Objetivos El objetivo principal de la poda es conservar la buena salud de la planta, aunque también se puede realizar para mantener o mejorar su aspecto. Hasta que la planta no ha alcanzado un determinado tamaño y forma, se debe podar con gran cuidado para no contrarrestar las tendencias naturales de su crecimiento. A parte de la eliminación de ramas viejas, enfermas o muertas, la poda también puede afectar a ramas sanas por distintos motivos: 1) para estimular el crecimiento de flores y frutos; 2) para permitir una mayor circulación del aire entre las hojas y las ramas; 3) para aumentar la penetración de la luz; 4) para dejar un espacio libre que permita la recolección de los frutos; 5) para separar las ramas, evitando así los daños causados por rozamiento mutuo; 6) para permitir una penetración máxima de los plaguicidas, y 7) para eliminar el desarrollo anormal y devolver a la planta su forma típica.

Métodos Si la poda se realiza incorrectamente o fuera de estación, se deja a la planta indefensa ante las plagas provocadas por microorganismos nocivos, condenándola a marchitarse. La técnica correcta consiste en podar justo por encima de una yema sana, que después se desarrollará y favorecerá la cicatrización, con una inclinación *de arriba a abajo* hacia la parte exterior de la rama. Si se desea eliminar una rama, el corte tiene que ser paralelo y rasante con respecto al tronco o a la rama de la que sale. Tras la poda no deben quedar tocones sin yemas, ni cortos ni largos, pues serían incapaces de cicatrizar antes de que los invadieran los hongos u otros organismos.

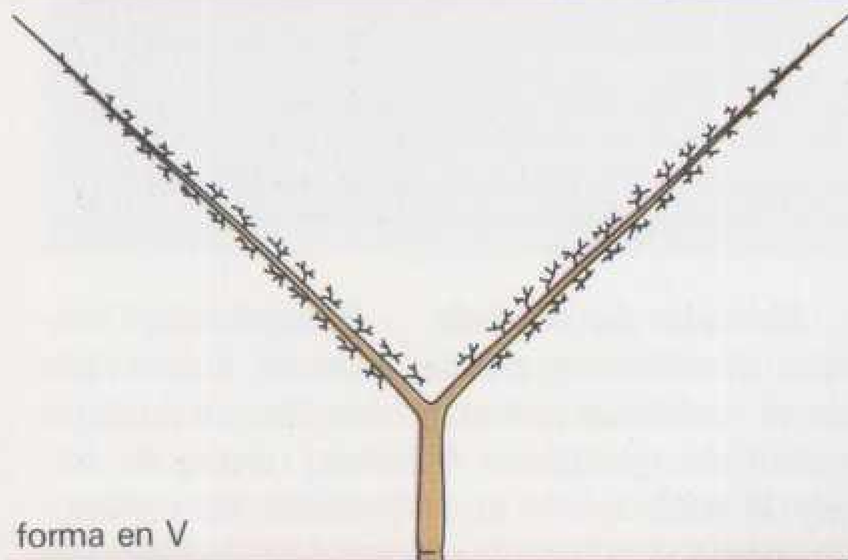


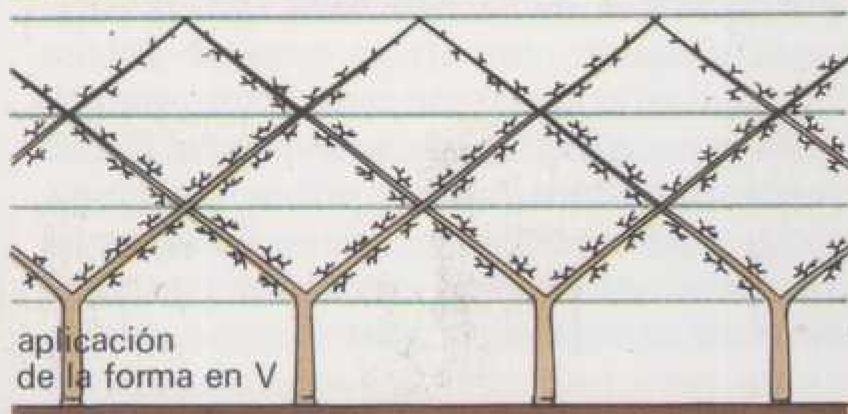


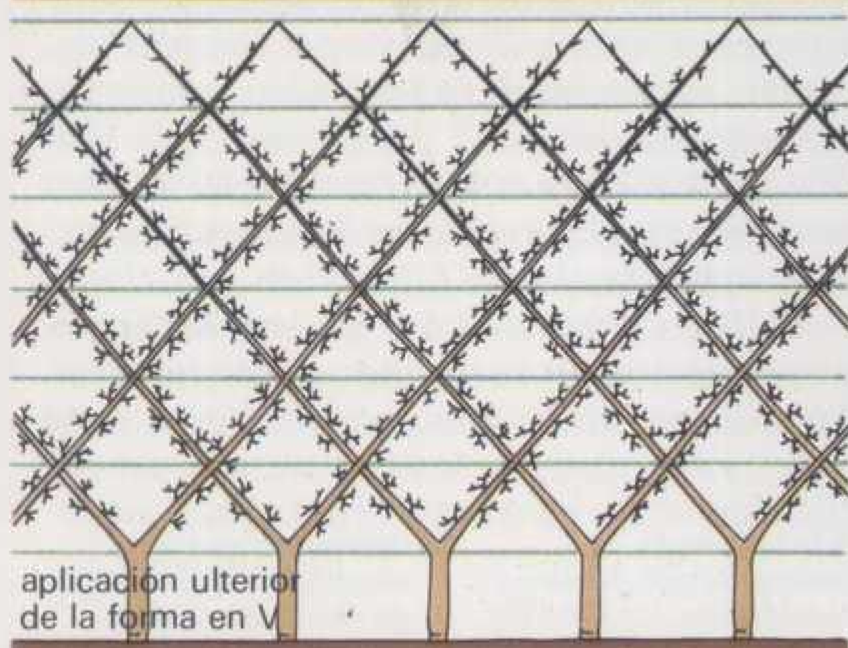
El instrumento con el que se realiza la poda son las tijeras de podar; no hace falta que sean tan grandes como el apero de la época medieval usado por el campesino del grabado. La forma aconsejada para las tijeras de podar es la de la figura de arriba, a la izquierda, donde también se indica cuál es la forma correcta de efectuar el corte de una rama.

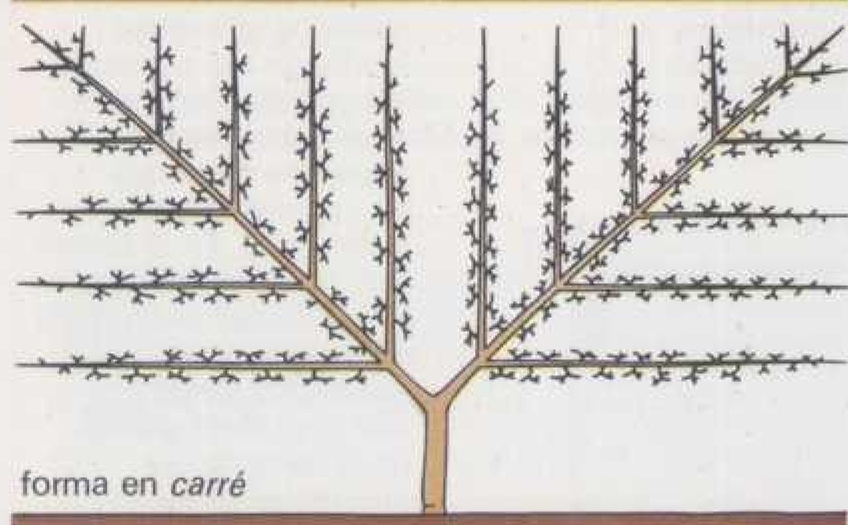


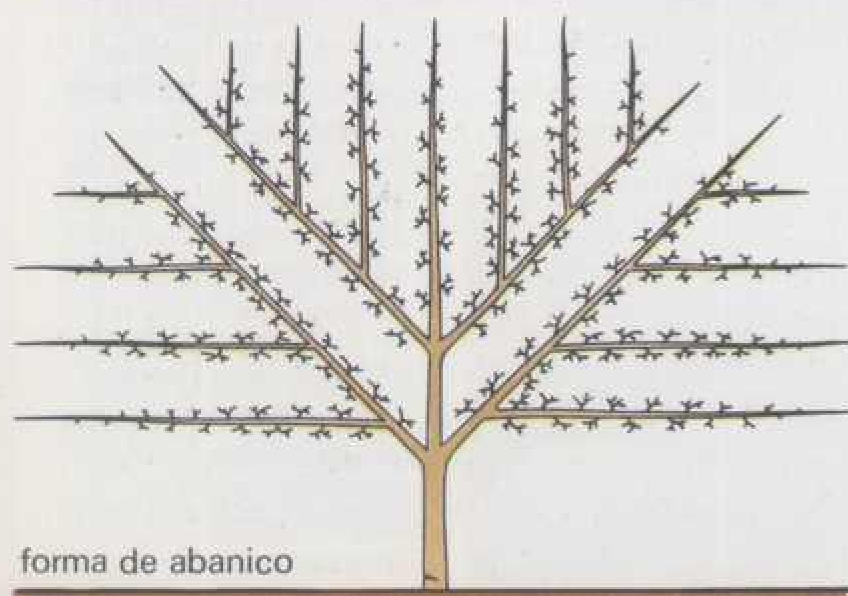
A la izquierda, algunas de las formas que se dan a los frutales por medio de distintos tipos de podas y, en ciertos casos, del apoyo y plegamiento de las ramas con la ayuda de estacas y de hilos. La poda también se puede realizar con fines ornamentales, como en el caso de la fotografía, por lo que es corriente en jardinería.











Para las plantas de hoja caduca, que pierden las hojas en invierno, no se pueden dar reglas generales. A grandes rasgos se puede decir que para las que se cultivan con el fin de aprovechar el follaje es válido lo que se ha dicho para las de hoja perenne; sin embargo, las plantas de las que se aprovecha la flor o el fruto necesitan técnicas diferentes en cada caso. Hay que dedicar especial atención a la forma en los primeros años después del trasplante, ya que los cuidados que se realicen entonces redundarán en un au-



Cuando se trata de árboles de grandes dimensiones que no han sido podados en mucho tiempo, es preferible realizar dos o más podas graduales.

Hay una técnica precisa para cortar las ramas gruesas y pesadas: se hace una incisión parcial por debajo de la rama, a unos 5 ó 10 cm de su inserción en el tronco o en otra rama, y luego se va cortando desde arriba a la altura de la incisión hasta que la rama cae. De esta forma se evita que el peso de la rama pueda arrancar la corteza y dañar el árbol. Si esto se produce, hay que quitar la corteza arrancada y realizar un corte de forma elíptica en la corteza que rodea a la herida. Es conveniente aplicar un emplaste especial en toda herida que sobrepase los 6 ó 7 cm de ancho.

Hay distintas técnicas de poda, según la planta de que se trate. Las de hoja perenne, como el pino y el abeto, no requieren grandes cuidados, ya que basta con eliminar las ramas secas o enfermas y si la punta se bifurca, cortar en seguida el brote más débil.

mento del vigor y del rendimiento del árbol en la madurez. Este tipo de poda recibe el nombre de "poda de formación". Una vez alcanzada la madurez, la planta recibe una poda "de mantenimiento" (o de producción) que asegura un justo equilibrio entre hojas, flores y el espacio necesario para los tratamientos y la recolección. Las podas de mantenimiento requieren técnicas muy variadas: así, la vid precisa una poda anual muy severa en la que se llega a eliminar el 95% de la vegetación del año anterior. Las higueras y los albaricoqueros, en cambio, aguantan muy mal las podas, por lo que éstas tienen que ser lo más ligeras posible. Algunas plantas de flor (como la *Forsythia* y la rosa sarmentosa) se podan justo después de la floración, mientras que otras (la mayor parte de las rosas modernas, por ejemplo) necesitan podas en otoño e invierno, es decir, en el período de reposo de la planta.

Véase **Arbol; Jardinería y horticultura; Plantas; Plantas, enfermedades**

Polarografía

El análisis químico comprende dos tipos fundamentales de investigación: uno cualitativo, consistente en determinar cuáles son los elementos presentes, y otro cuantitativo, que establece la cantidad de los mismos. Todos los métodos que están en condiciones de satisfacer las exigencias de estos dos tipos de análisis se basan en la determinación de aquellas propiedades que permiten identificar y cuantificar la presencia de los diversos elementos y de sus compuestos. La polarografía es una técnica instrumental electroquímica capaz de proporcionar un análisis, ya sea cualitativo o ya sea cuantitativo, de un elemento, aprovechándose de sus características eléctricas. La polarografía se utiliza sobre todo para el análisis de los componentes de aleaciones, así como de sustancias orgánicas.

Principios fundamentales La polarografía se basa en el estudio de las relaciones entre la tensión aplicada a los electrodos y la intensidad de la corriente que atraviesa una solución electrolítica; con este método se obtienen datos sobre la composición cualitativa y cuantitativa de la solución que se examina.

Un determinado valor de la tensión necesaria para reducir una sustancia, es decir, para que capte electrones, constituye una característica que identifica unívocamente a la sustancia puesta en la disolución, lo que permite efectuar su análisis cualitativo. Por otro lado, la intensidad de la corriente necesaria para la reducción es proporcional a la cantidad de dicha sustancia, lo cual hace posible también un análisis cuantitativo.

Aparatos para análisis polarográfico El análisis polarográfico requiere la utilización de dos electrodos, de un generador de diferencia de potencial para establecer el paso de una corriente eléctrica y de instrumentos capaces de medir y registrar la tensión suministrada y la corriente resultante. Todos estos elementos constituyen un *polarógrafo*. Uno de los electrodos (generalmente el cátodo, con carga negativa) está compuesto por un delgado tubo capilar relleno de mercurio; el otro electrodo está formado por una capa de mercurio colocada sobre el fondo del recipiente que contiene el baño electrolítico. La tensión eléctrica es suministrada mediante un generador que debe ser controlado con gran precisión con el fin de determinar el valor de la tensión de reducción que, como se ha dicho, permite identificar la sustancia en cuestión.

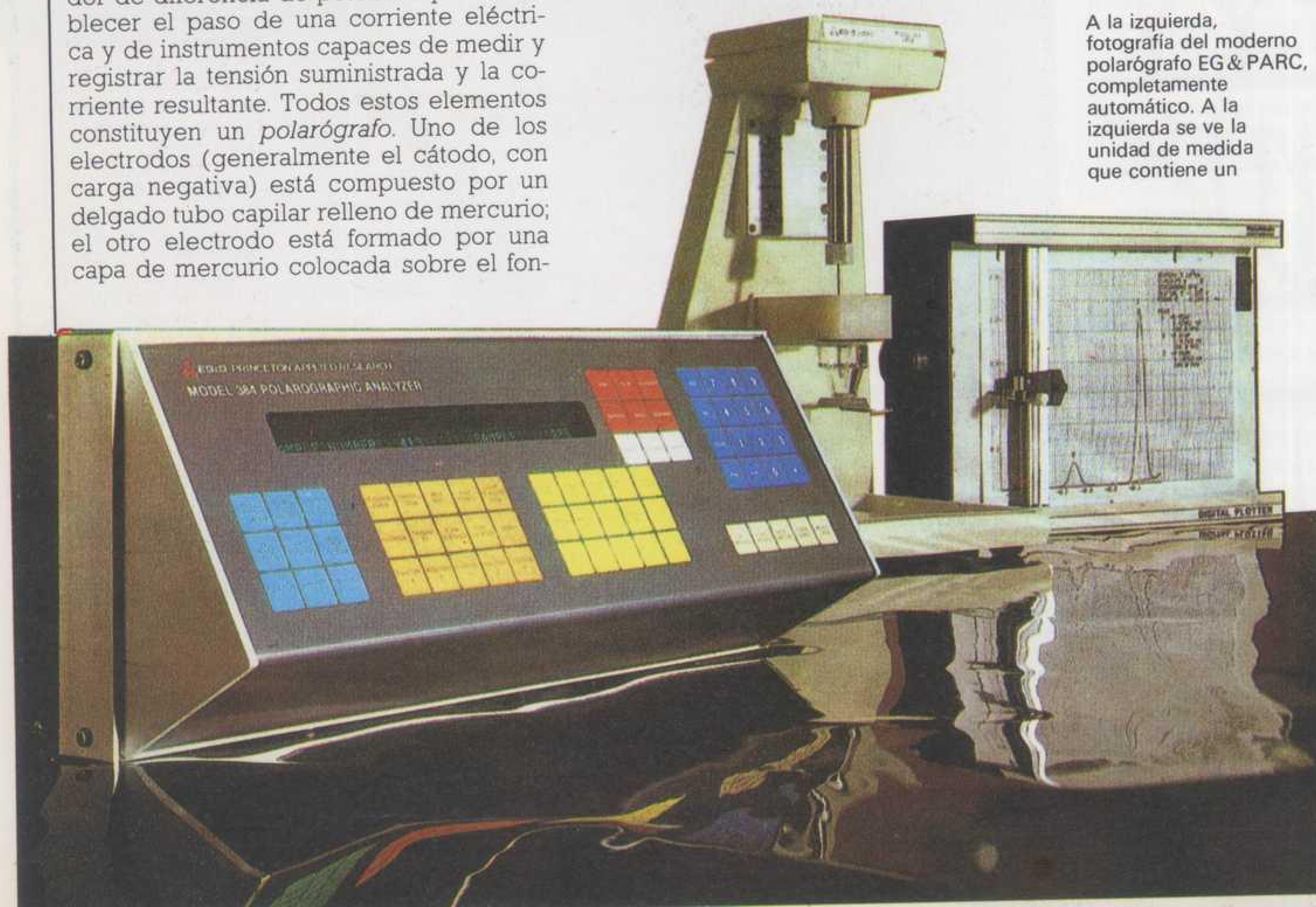
En los primeros análisis polarográficos, la relación entre la tensión y la corriente eléctrica se representaba a mano o era registrada mediante dispositivos mecánicos. Actualmente, los resultados son registrados automáticamente por medio de un osciloscopio de rayos catódicos o bien quedan registrados gráficamente. El gráfico que resulta toma el nombre de *polarograma*. Existen polarógrafos compactos y portátiles, adaptados a la medida de los niveles de oxígeno disuelto en agua, muy útil en el análisis del nivel de contaminación de los lagos y ríos. La introducción en estas técnicas analíticas de los ordenadores con registro automático han permitido ampliar, de forma notable, los límites de análisis.

En la tabla se resumen las principales aplicaciones de la polarografía. La sensibilidad de las técnicas voltamétricas y de impulso han supuesto un gran avance, tanto en el campo orgánico como inorgánico, en el método polarográfico. Con este método se pueden analizar miles de compuestos orgánicos, incluso se puede determinar en el agua y en los alimentos trazas de metales en partes por billón, con la posibilidad de evaluar su contaminación.

ALGUNAS APLICACIONES DE LA POLAROGRAFIA	
METALURGIA	Análisis de la aleación, determinación de los elementos en trazas
ELECTROGALVANICA	Control de los baños de chapeado (niquelado, cromado, dorado, etc.), análisis de los metales principales, en trazas, y de los aditivos orgánicos
MEDIO AMBIENTE	Análisis de contaminación en sustancias minerales y orgánicas
PESTICIDAS Y HERBICIDAS	Puros o como residuos en el agua, en los terrenos, en los vegetales y en los alimentos animales y vegetales
ALIMENTOS	Análisis de materias primas y de las impurezas y contaminantes (como los de los alimentos)
COSMETICOS	Análisis de vitaminas, sustancias nutritivas antioxidantes, aromatizantes y otros aditivos, metales tóxicos (Pb, Cd, Se, etc.), nitrosaminas, nitritos, monómeros de sustancias plásticas obtenidas de los embalajes
MATERIAS PLASTICAS Y POLIMEROS	Análisis de materias primas, de monómeros residuales, de aditivos, de contaminantes de desecho

Método de medida Se aplica la tensión al cátodo y se hace de tal forma que en el extremo del tubo capilar se formen gotas de mercurio. Cuando una gota engorda y aumenta su superficie en contacto con la disolución, aumenta ligeramente la intensidad de la corriente que la atraviesa. Cuando, por fin, la gota se separa del capilar, la corriente baja bruscamente, hasta que se forma una nueva gota. El instrumento de medida amplifica y registra la intensidad de la corriente. El valor de la tensión aplicada al cátodo es progresivamente aumentado hasta que no es suficiente para provocar la reducción de los iones de la disolución misma, en el capilar que contiene el mercurio. En este momento, la corriente aumenta bruscamente, y, después del pico inicial, se logra gradualmente un valor constante en el cual se estabiliza, aunque se aumente la tensión aplicada.

El flujo estabilizado de corriente depende del número de iones de una determinada sustancia que son reducidos en el



A la izquierda, fotografía del moderno polarógrafo EG & PARC, completamente automático. A la izquierda se ve la unidad de medida que contiene un microelaborador electrónico y un disco de memoria con los programas de nueve métodos diferentes. Mediante los controles del panel, el operador elige los parámetros experimentales que son automáticamente elaborados. En el centro está el electrodo (gota de mercurio) en su celda de análisis. Los resultados pasan a la impresora gráfica de la derecha. Se pueden determinar datos de concentraciones de 0,0001 ppm (partes por millón) a 999 ppb (partes por billón). En la página siguiente, abajo, ejemplos típicos de polarogramas: se lee el potencial de semionda a la mitad de la pendiente de la curva para fines cualitativos, mientras que la altura de la corriente límite es proporcional a la concentración.

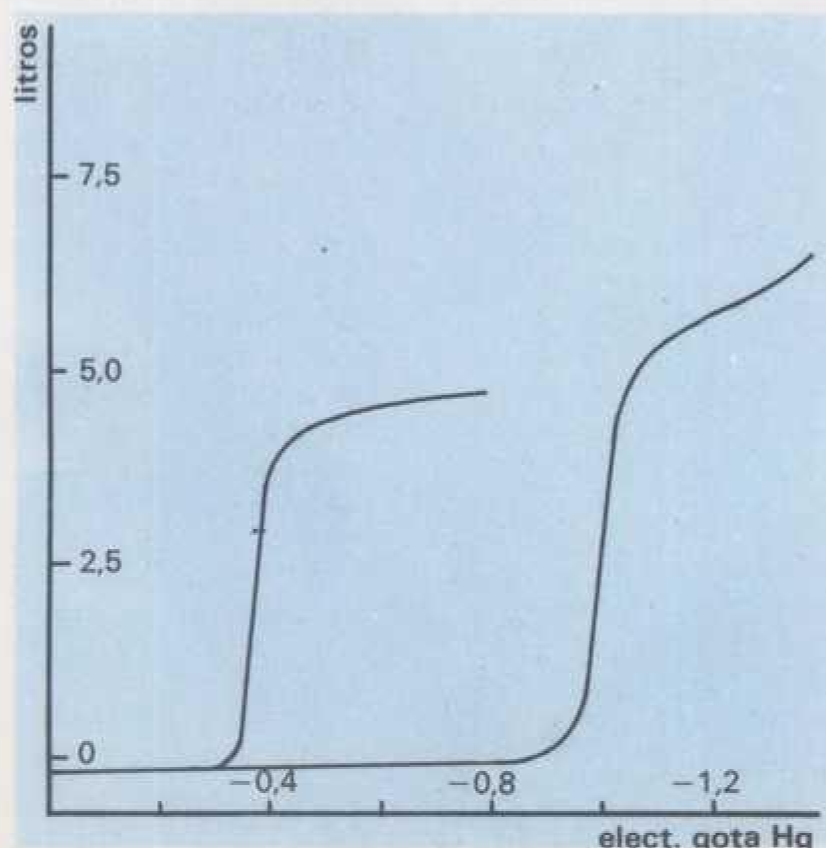
electrodo capilar. El número de átomos que están en contacto con la superficie de las gotas de mercurio, que se forman en el cátodo, depende de la concentración de tales sustancias en la disolución. Por tanto, la medida de la intensidad de la corriente estabilizada indica cuál es la concentración de la sustancia contenida en el baño electrolítico.

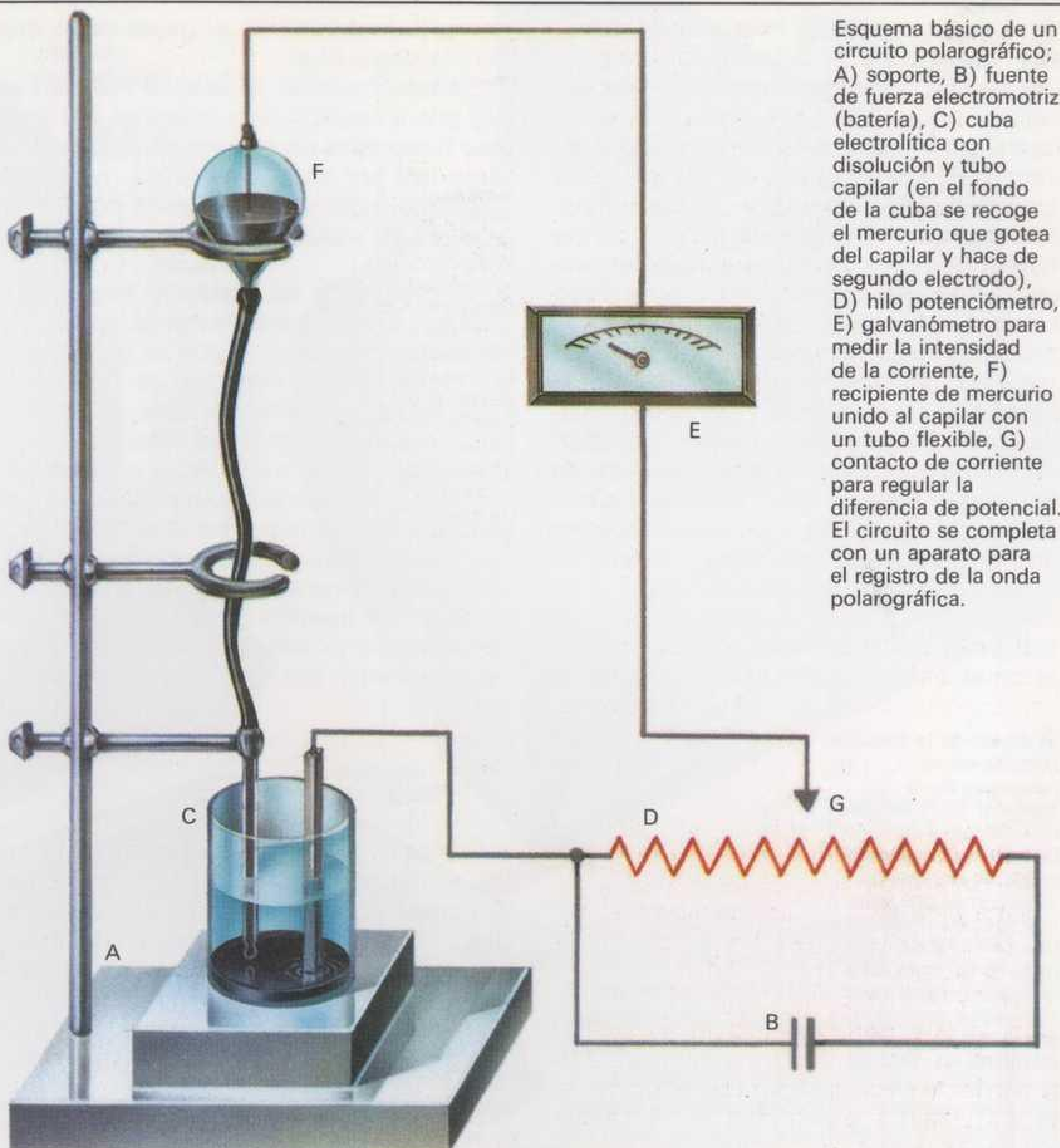
La polarografía, por otra parte, permite analizar sustancias electro-oxidables (sustancias que ceden electrones en el ánodo de una cuba electrolítica), que producen una corriente análoga de baja intensidad y de valor constante; en este caso, el electrodo capilar sobre el que se forma la gota de mercurio constituye el ánodo del sistema.

Aplicaciones La polarografía constituye una técnica instrumental de análisis químico particularmente sensible y versátil, lo que permite realizar mediciones muy delicadas. Puede ser utilizada para analizar compuestos inorgánicos, aleaciones metálicas y muchas sustancias orgánicas. Puesto que el electrodo utilizado, generalmente una gotita de mercurio, atraviesa la disolución y no se combina químicamente con la sustancia misma, este método de análisis es un método no destructivo, es decir, permite recuperar, inalterada, la muestra de la sustancia examinada.

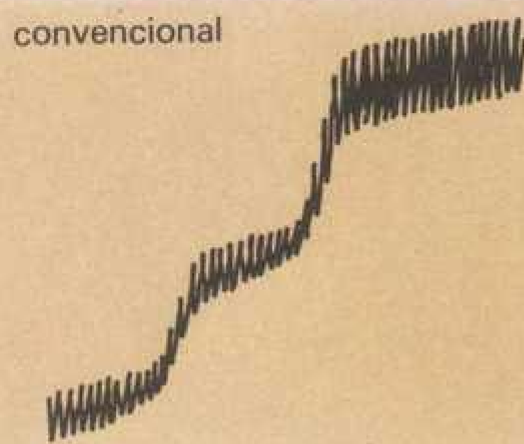
Cuando la disolución contiene un cierto número de diversas sustancias que se reducen o se oxidan a tensiones diferentes es posible, con un simple polarograma, analizar cualquiera de ellas. La polarografía es utilizada en análisis de contaminación del medio ambiente para determinar la presencia de trazas de sustancias venenosas o peligrosas en los alimentos, y en análisis industriales. Recientemente se ha empleado para analizar muestras de rocas de la Luna y para estudiar muestras arqueológicas.

Véase **Análisis químico; Electrólisis; Electroquímica; Oxidación y reducción**

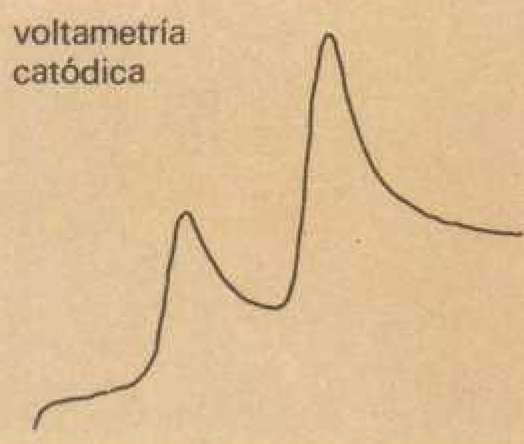


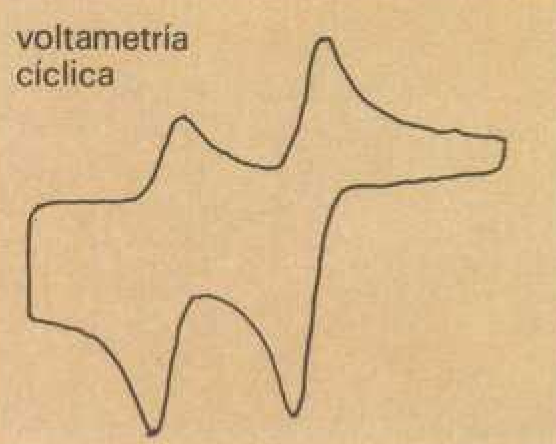


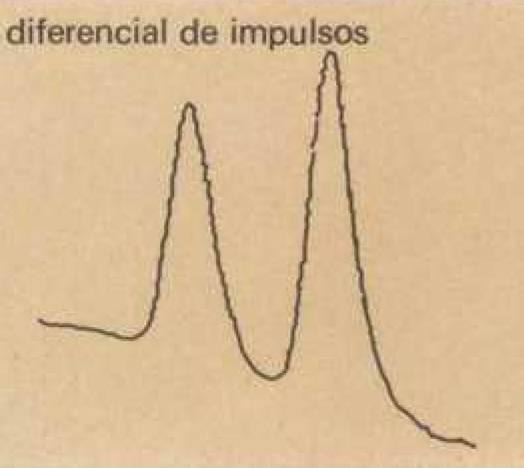
Esquema básico de un circuito polarográfico; A) soporte, B) fuente de fuerza electromotriz (batería), C) cuba electrolítica con disolución y tubo capilar (en el fondo de la cuba se recoge el mercurio que gotea del capilar y hace de segundo electrodo), D) hilo potenciómetro, E) galvanómetro para medir la intensidad de la corriente, F) recipiente de mercurio unido al capilar con un tubo flexible, G) contacto de corriente para regular la diferencia de potencial. El circuito se completa con un aparato para el registro de la onda polarográfica.

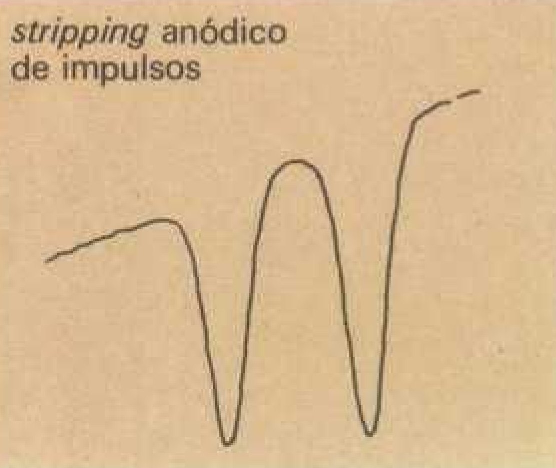












A la izquierda, diagrama de algunas técnicas polarográficas en uso. Se representa el valor de la corriente eléctrica para diversas tensiones. La forma de la curva permite reconocer las sustancias y dosificarlas. Arriba, una polarografía convencional y otra de muestreo de corrientes, superada desde el punto de vista cualitativo, pero útil para la investigación; la voltametría catódica y la voltametría cíclica, importantes para el estudio del tipo de proceso; la polarografía de impulsos diferenciales, que permite un aumento de sensibilidad de unos 50 voltios respecto a la polarografía convencional, y el *stripping* anódico a impulsos, que sirve para los análisis de los metales amalgamables, que tienden, por tanto, a alearse con el mercurio.

Polaroid, cámara fotográfica

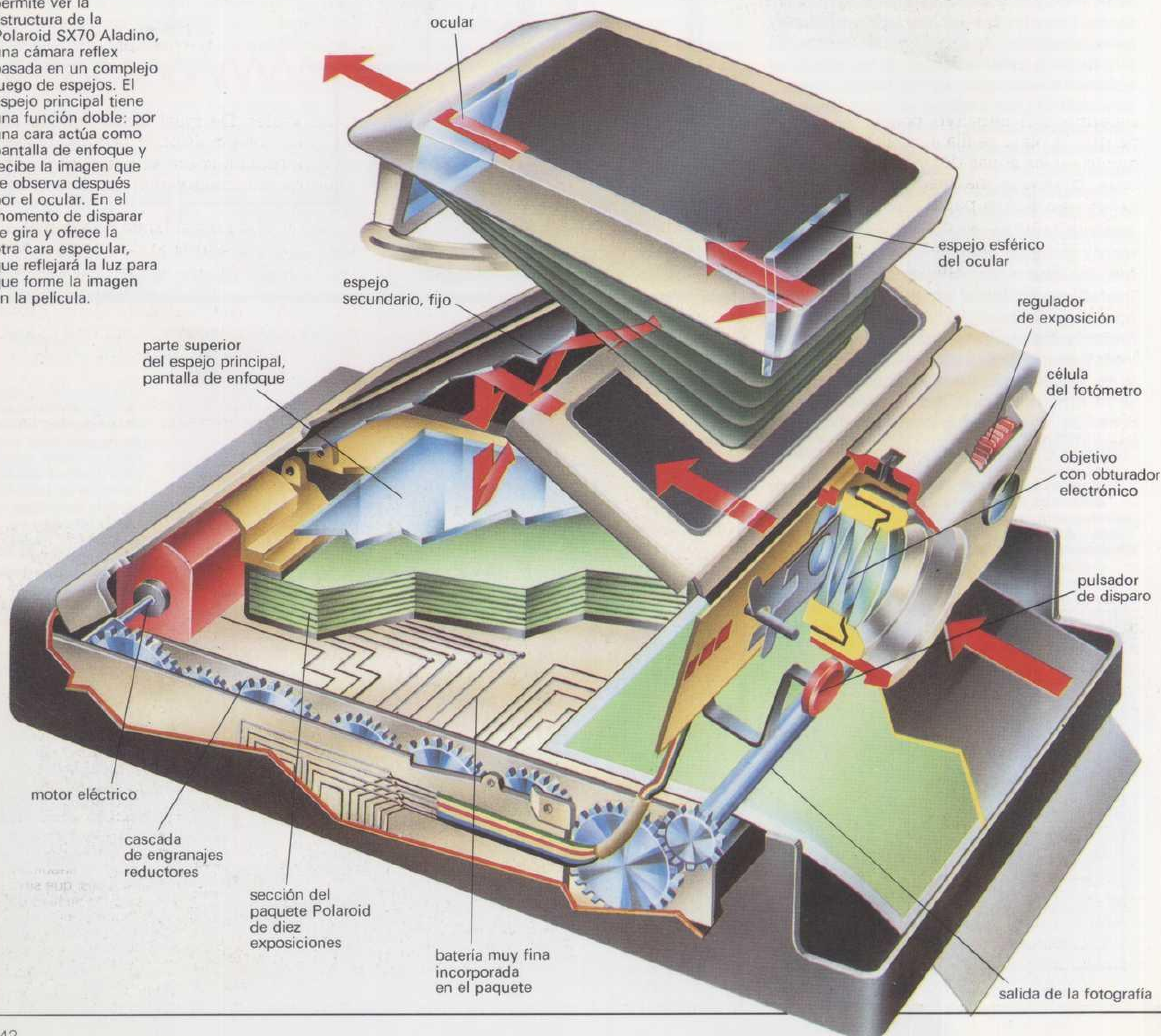
La firma comercial Polaroid ha pasado a la historia de la fotografía por ser la primera en comercializar cámaras de procesado instantáneo. Su fundador, Edwin H. Land, lanzó al mercado en el año 1948 una cámara fotográfica que denominó Polaroid-Land, que permitía, en algo menos de 60 segundos, obtener una copia final en blanco y negro, sin ningún tipo de manipulación ajena a la cámara, adelantándose con su invento a las grandes compañías internacionales. Su éxito inicial le permitió continuar con el desarrollo de este tipo de procesos, que tuvo una larga evolución en las décadas siguientes, incorporando nuevas mejoras (cuerpos compactos retráctiles, ingenios con sonar para enfoque automático, ajuste automático de iluminación, etc.), reduciendo tiempos y extendiendo su campo de acción al color.

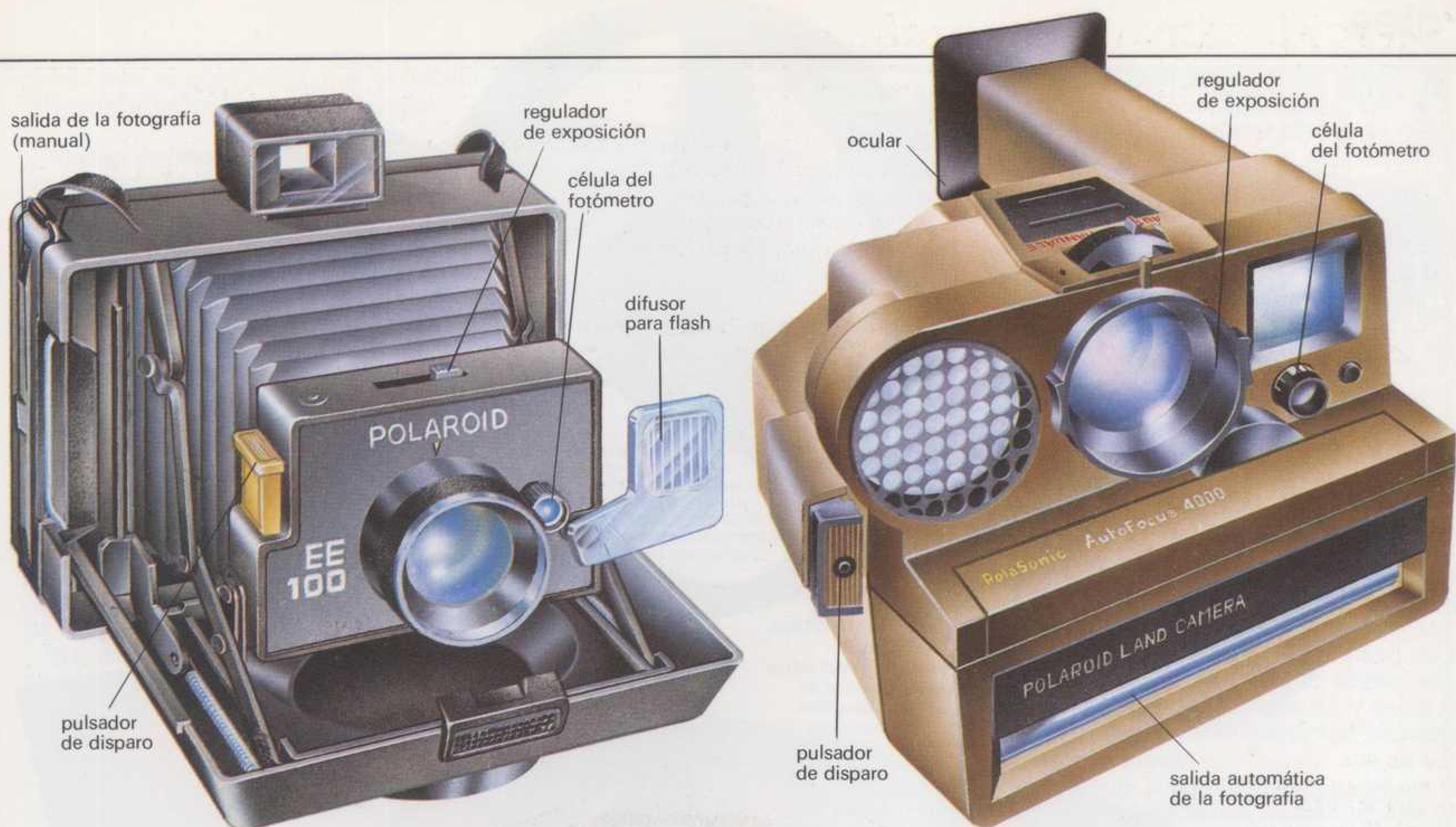
El procedimiento para que este tipo de fotografía sea posible exige que la cámara no sólo contenga el negativo, como es habitual, sino también el papel de lo que será la copia final.

En la actualidad, el término *Polaroid* se usa por extensión para referirse a la película fotográfica de procesado instantáneo, cuyo uso por otras compañías, que ya se había extendido, fue prohibido por los tribunales de justicia.

El procesado en blanco y negro La película Polaroid está formada por un soporte plástico sobre el que se ha extendido una emulsión negativa, es decir, una capa de halogenuros de plata sensibles a la luz que, del mismo modo que en una cámara fotográfica tradicional, quedan expuestos al abrirse el objetivo. Una vez impresionada la imagen en la película, ésta se pone en contacto con el papel (positivo) que se encuentra detrás. Cuando se extraen del aparato (tirando de una lengüeta en los primeros modelos de cámaras Polaroid y con emisión automática en los más recientes), la película y el papel son obligados a pasar entre unos rodillos paralelos, que al hacer presión rompen unas minúsculas cápsulas de gelatina reveladora que se encuentran junto al papel positivo. Esta gelatina, llamada reactiva porque reacciona con las sustancias químicas presentes en el papel, se extiende uniformemente en el espacio que media entre el papel y la película, es decir, entre el papel positivo y el negativo, reaccionando con las sales de halogenuros de plata expuestas a la luz, transformándolas en plata metálica y fijándolas a la base del negativo, de forma proporcional a la cantidad de luz recibida. Los gránulos de halogenuros que no han recibido luz, y que por tanto no reaccionan con el agente revelador alcalino, emigran por la gelatina hasta alcanzar la emulsión positiva, donde tiene lugar una reacción química que convierte los halogenuros en plata metálica y la fija a la emulsión, del mismo modo que

El dibujo de la derecha permite ver la estructura de la Polaroid SX70 Aladino, una cámara reflex basada en un complejo juego de espejos. El espejo principal tiene una función doble: por una cara actúa como pantalla de enfoque y recibe la imagen que se observa después por el ocular. En el momento de disparar se gira y ofrece la otra cara especular, que reflejará la luz para que forme la imagen en la película.





sucede en el negativo, con la diferencia de que la plata se fija al positivo precisamente en las zonas donde no ha recibido luz, formándose una imagen especular del negativo sobre el papel.

En el mercado se encuentran películas instantáneas de distintas características y sensibilidades. En algunos tipos el negativo se inutiliza durante el proceso de transferencia; otros, sin embargo, pueden reutilizarse para ampliaciones o copias posteriores.

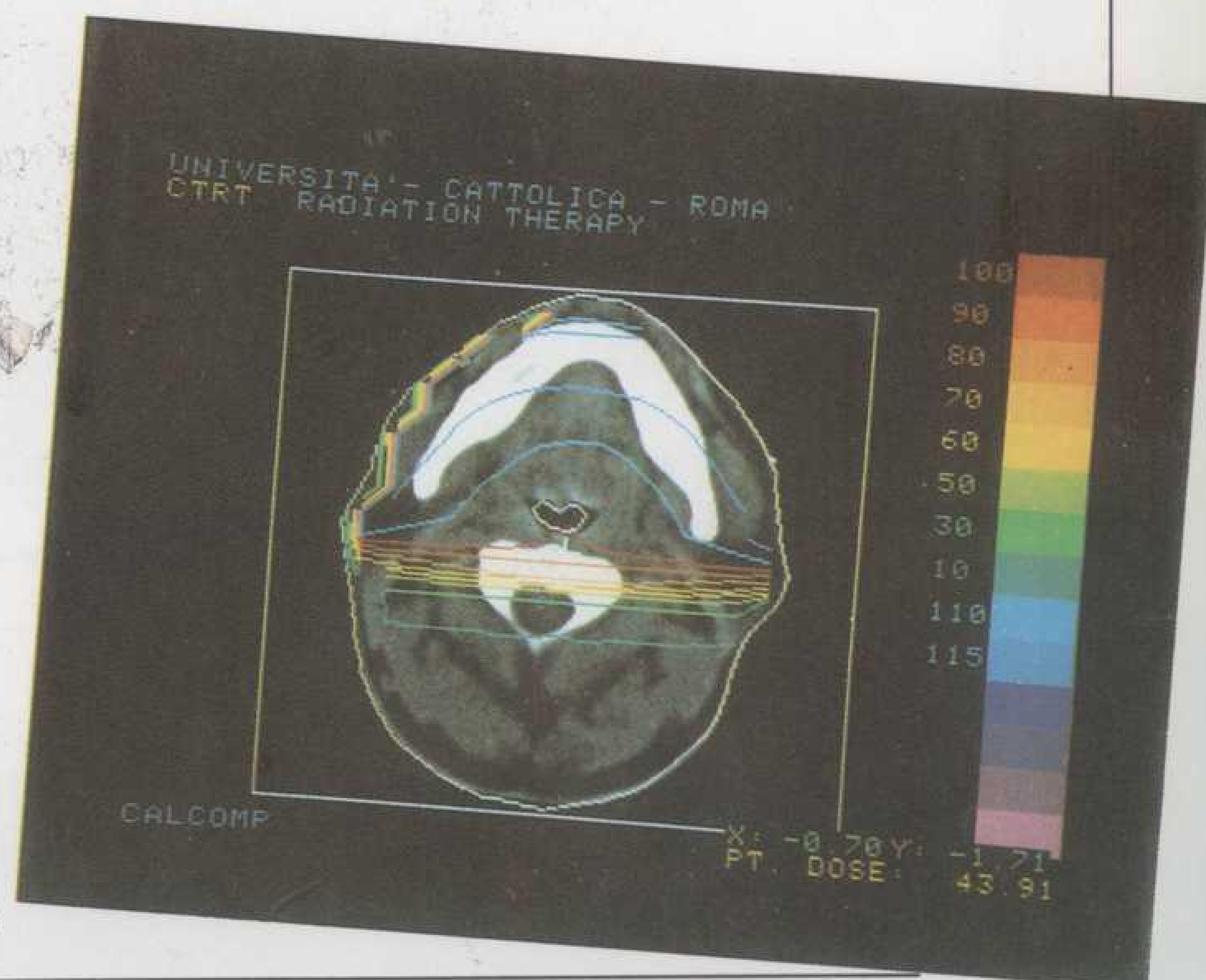
El procesado Polacolor En 1963, el propio Edwin Land introdujo la primera cámara Polaroid para procesado instantáneo de copias en color. Aunque utilizó el mismo principio que en el procesado en blanco y negro, conocido como principio de difusión-transferencia, en este caso existe la lógica complejización que conlleva la fotografía en color.

En el procesado en color, que Land denominó Polacolor, el negativo está formado por tres capas dobles sobre un soporte plástico. Cada capa contiene una emulsión sensible a un color, y pigmento o colorante de su color complementario. La primera o más exterior es sensible sólo al azul y va unida a un estrato de moléculas colorantes que producen el color amarillo. La doble capa siguiente consta de un estrato sensible a la luz verde, junto con otro de pigmento rojo-magenta. Finalmente, la capa más interior es sensible a la luz roja y contiene pigmentos azules. De acuerdo con la teoría del color, cualquier color se obtiene como mezcla de luces de los tres colores primarios (sistema aditivo). Esta es la razón de que sólo se requieran tres emulsiones para reproducir todos los colores del espectro.

Cuando la película se expone a la luz, cada capa se sensibiliza con su correspondiente color. Al extraer el conjunto película-papel de la cámara se rompen las cápsulas que contienen los reveladores y éstos se extienden por las respectivas emulsiones, así como un agente químico que bloquea la luz, lo que permite que el revelado se haga a pleno sol. Las áreas de la imagen que presentan color azul sensibilizan la parte correspondiente del negativo sensible al azul, obligando a adherirse en esas zonas a los pigmentos amarillos, mientras que los pigmentos no utilizados emigran al papel positivo donde producen, mediante reacciones químicas, tonos azules. De igual forma sucede con las otras dos emulsiones. Los tres colores se superponen sobre el papel reconstruyéndose una imagen con sus colores reales.

La fotografía instantánea Polaroid ha supuesto un considerable avance en el campo de la imagen, no sólo para aficionados impacientes sino, y fundamentalmente, para aplicaciones médicas e industriales en donde la rapidez a la hora de obtener un resultado inmediato puede ser de trascendental importancia.

Véase **Cámara fotográfica; Fotografía; Objetivo fotográfico**



Arriba, a la izquierda, el modelo EE 100, donde se vuelve a la idea del aparato plegable, fuera de uso desde los años cincuenta, pero muy útil para el procesado Polaroid por las grandes dimensiones del negativo; a la derecha, cámara con sistema de enfoque automático, basado en la emisión controlada de ultrasonidos. En muchos trabajos industriales, de investigación y, particularmente, en Medicina, la fotografía instantánea resulta de una gran ayuda. A la derecha, un ejemplo de aplicación del sistema Polaroid en Medicina: imagen de una tomografía axial computadorizada obtenida de la pantalla de un ordenador.

Polea

Aunque sus orígenes sean desconocidos y objeto de simples hipótesis, la polea se conoce seguramente desde hace miles de años, y fue sin duda utilizada en la construcción de muchos de los monumentos arquitectónicos que aún se conservan de antiguas civilizaciones.

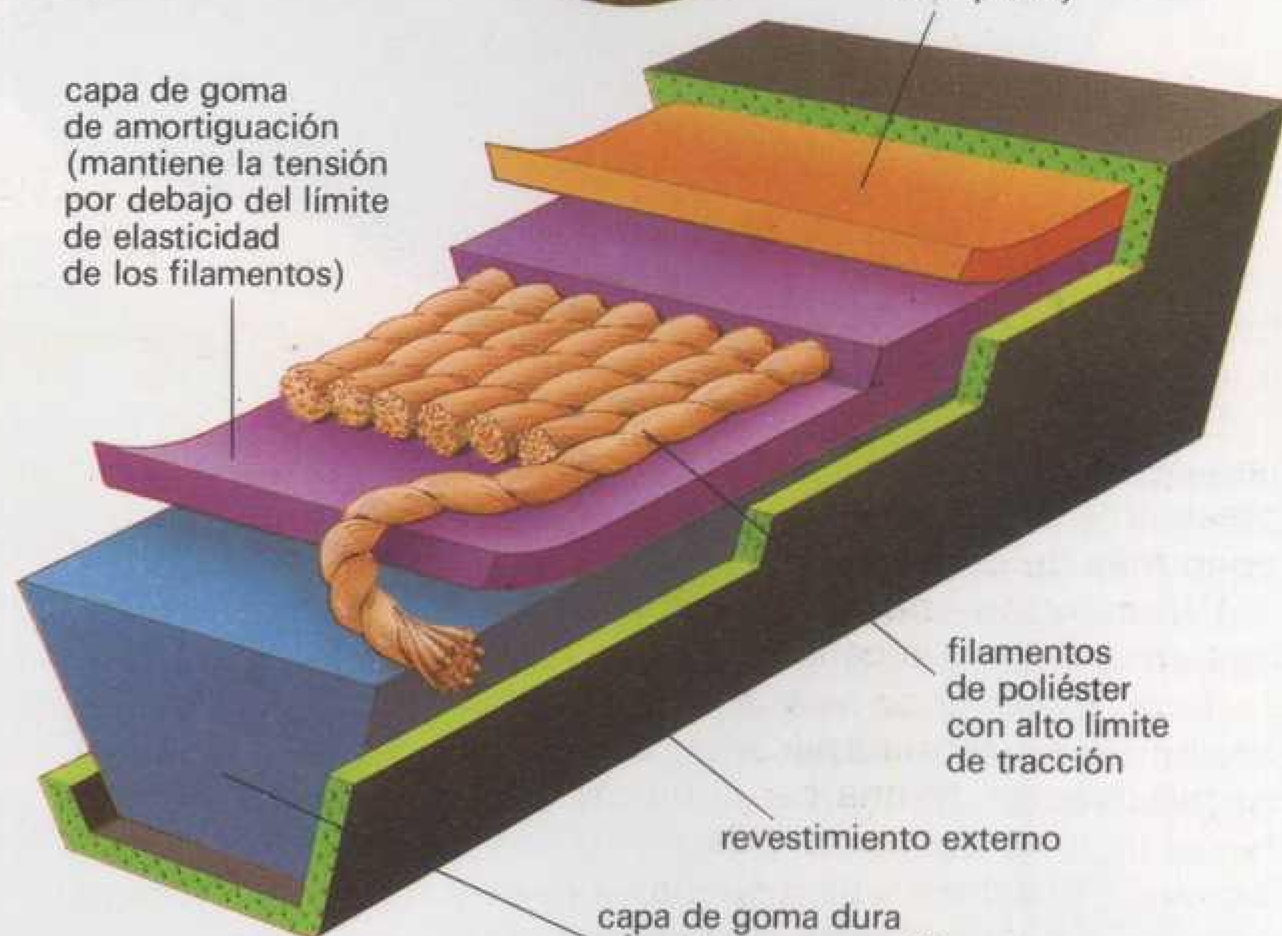
Considerada como una máquina simple, forma parte, sin embargo, de casi todos los elementos fundamentales sobre los que se basan las máquinas usadas en la actualidad. Otros elementos comparables son la palanca, el tornillo, el plano inclinado, la cuña, la rueda y el eje. Estos se encuentran en casi todos los mecanismos, desde los engranajes de una bicicleta hasta el motor de un automóvil.

Estructura La polea es un disco circular que gira libremente alrededor de un perno o eje que la cruza por su centro y que presenta, en todo su contorno, una ranura llamada *garganta* sobre la que corre una cuerda. El eje puede hallarse fijo en la polea y, en este caso, sus dos extremos giran en dos orificios circulares practicados en una "chapa" que abraza la polea: si el eje se encuentra fijo en la chapa, cruza un orificio circular practicado en el centro de la polea, la cual puede girar independientemente sobre su eje. La finalidad básica de la polea simple que acabamos de describir es la de cambiar la dirección de cualquier fuerza aplicada sobre una cuerda, permitiendo así, por ejemplo, mover una carga fijada al otro extremo de dicha cuerda a una distancia igual a la recorrida por la cuerda sobre la polea. De este modo se puede levantar un peso a una altura determinada sin que nadie tenga que desplazarse físicamente con el objeto en cuestión en la mano.

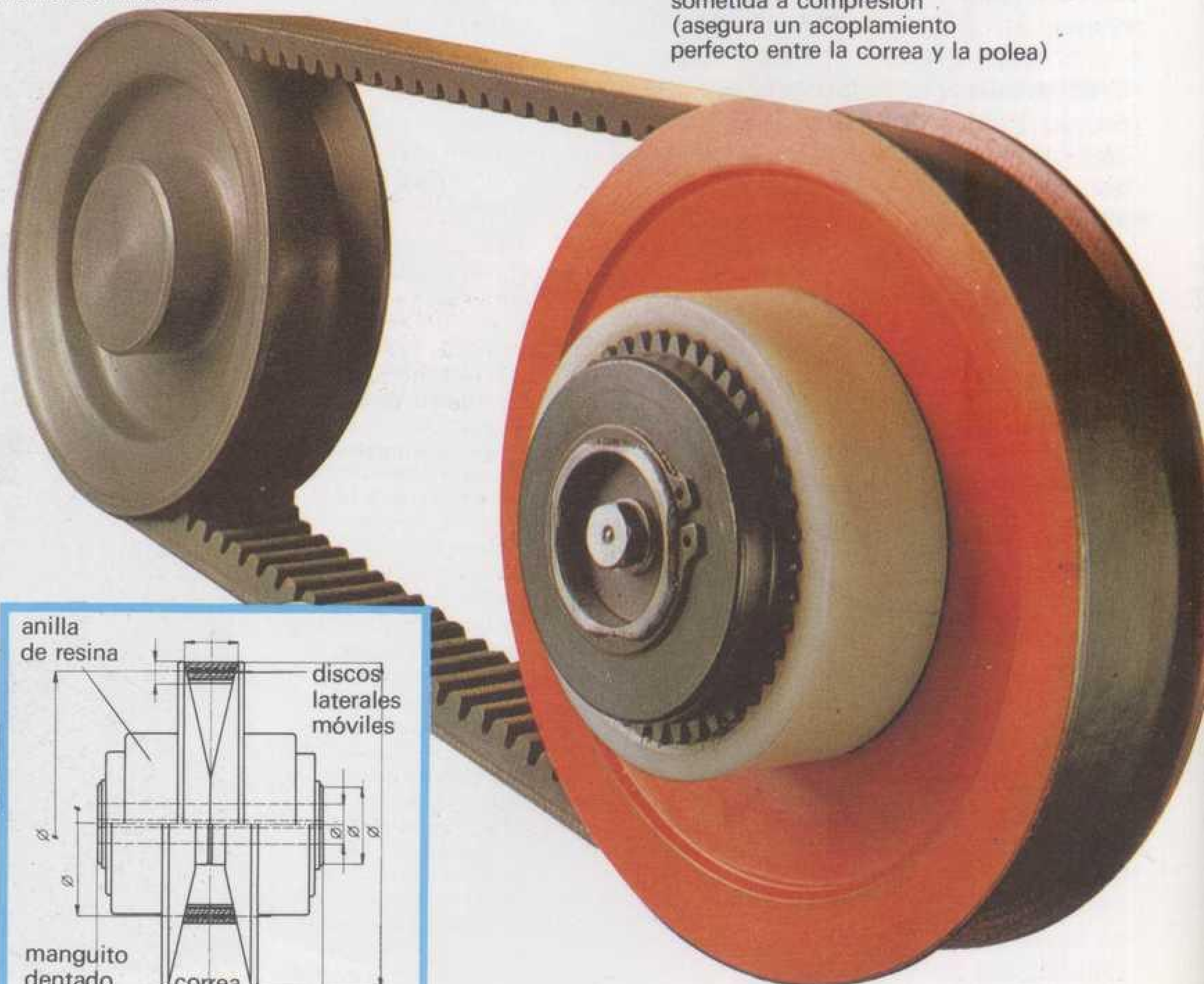
Un buen ejemplo de aplicación de una polea de este tipo es el dispositivo (conocido más propiamente con el nombre de "garrucha") utilizado para elevar un cubo de agua desde el fondo de un pozo. Las

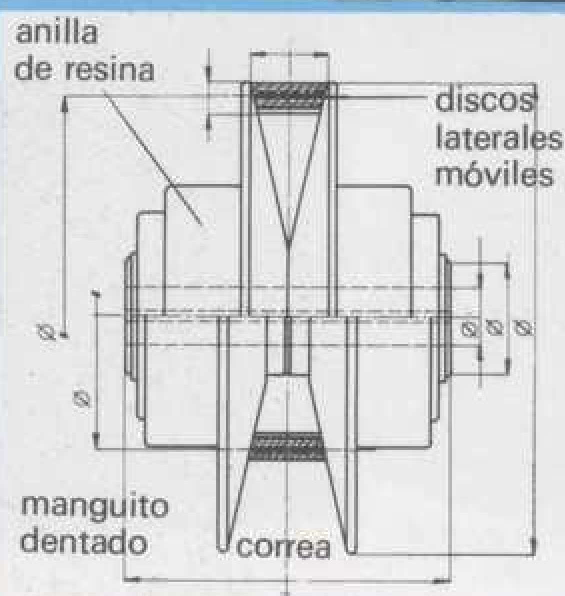


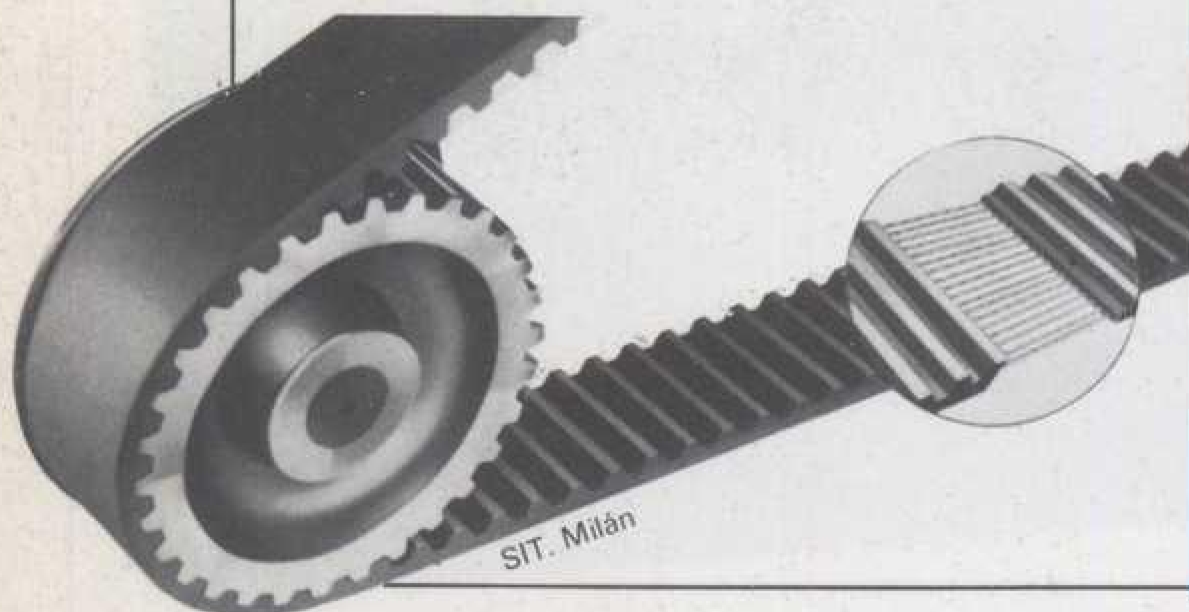
Arriba, distintas poleas con gargantas trapezoidales estrechas y concéntricas a su eje. Son adecuadas para transmisiones de alta potencia y pueden trabajar en espacios muy reducidos, como por ejemplo, en el interior de máquinas y motores. Construidas en hierro de fundición, pueden alcanzar una velocidad tangencial de 30 m/s. A la derecha, sección de una correa trapezoidal construida en fibras de poliéster. Su estructura asegura la máxima potencia de transmisión, una adecuada tensión de trabajo y un bajo índice de rotura de los filamentos interiores.



Abajo, una polea dentada con correa de transmisión del tipo "super torque", adecuada para trabajar a bajas velocidades y de la cual podemos ver un detalle aumentado que muestra los filamentos interiores. A la derecha, una polea de diámetro variable, unida, mediante una correa trapezoidal, a una polea fija en hierro de fundición. La polea variable, de la cual se muestra también un esquema, permite la regulación continua de la velocidad, al estar dotada de unos laterales móviles que pueden desplazarse a lo largo de un eje central de acero, y que se mantiene a una determinada distancia entre sí con la ayuda de un muelle coaxial situado entre ambas.







poleas más simples hacen que el trabajo de levantar pesos sea menos gravoso.

Ventaja mecánica Utilizando un sistema combinado de poleas móviles y fijas, de forma que la cuerda pase sobre ellas en serie, las componentes verticales de la fuerza necesaria para levantar una carga pueden reducirse proporcionalmente al número de poleas utilizadas. Esto significa, en el caso de poleas móviles (poleas cuya chapa se halla provista de un gancho del cual se suspende una carga de forma que puede moverse con ella), que la distancia recorrida por la carga dependerá proporcionalmente del número de poleas que integren el sistema y de la longitud de cuerda que se haya tirado. Los más complejos sistemas de poleas son conocidos como *tróculas* o *multiplicadores de fuerza*, porque facilitan el movimiento de cargas cada vez mayores.

Naturalmente, según los principios de conservación de la energía, sabemos que en realidad no se crea o se añade al sistema fuerza exterior alguna. Más bien lo que se pierde en velocidad (distancia que recorre la carga en un cierto período de tiempo) se transfiere en beneficio de la fuerza de levantamiento.

Esto significa que, para levantar un objeto particularmente pesado, se debe emplear un poco más de tiempo y usar un poco más de cuerda.

Esta relación entre la distancia recorrida por la carga y la cantidad de cuerda tirada es conocida como *ventaja mecánica*. En un sistema multiplicador de fuerza es posible mover una carga un metro tirando dos metros de cuerda y utilizando la mitad de la fuerza. La relación es entonces de 2 a 1, o simplemente 2. Ahora bien, esta ventaja ideal no tiene en cuenta el rozamiento. La ventaja será en realidad ligeramente inferior a 2, pero en términos experimentales por lo general no se tiene en cuenta el rozamiento. En un sistema de poleas como los usados para elevar cargas muy pesadas, por ejemplo en una obra de edificación o en los muelles de los puertos, la ventaja mecánica puede ser convenientemente aumentada hasta 3, 4 ó 5 veces añadiendo un mayor número de poleas fijas y móviles. De esta forma un hombre puede levantar cargas de peso muchas veces superior al suyo propio y de forma más cómoda que si tuviese que transportar físicamente el objeto. Un buen sitio para observar en acción grandes sistemas de poleas es un muelle durante las operaciones de carga y descarga de los pesados contenedores que transportan los barcos.

Variantes de los sistemas de poleas se encuentran en las aplicaciones más diversas: en las correas de los ventiladores, en los mecanismos de levantamiento de persianas y en una infinidad de sistemas de transmisión.

Véase **Grúa y aparatos elevadores**



Las poleas dentadas se fabrican en material plástico y en metal, como acero de fundición y aluminio. Existen diferentes tipos, diseñados de tal forma que los dientes de la correa entran y salen de los canales de la polea correspondientes con un rozamiento insignificante, los tipos especiales deben construirse, sin embargo, a petición de los usuarios. En el uso de correas dentadas se utilizan poleas con discos laterales para evitar que la correa pueda salirse a causa de sus ligeros desplazamientos laterales cuando está en funcionamiento.

Polígonos y poliedros

Desde tiempos remotos uno de los problemas que suscitó el interés de la mente humana fue el de las figuras geométricas; sus formas, las relaciones de unas y otras, los valores de las longitudes que las determinaban, sus áreas y volúmenes fueron objeto de estudio en las civilizaciones de la Antigüedad. Como en otras muchas materias matemáticas, también en ésta los griegos dieron un avance notable y en gran medida dejaron numerosas cuestiones cerradas.

Polígonos Es fácil comprender la formación de un ángulo como uno de los conjuntos intersecciones de los semiplanos en que dos rectas que se cortan dividen el plano. El punto de corte es el *vértice*, y las dos semirrectas que lo limitan, los *lados*. Cuando se tiene un sistema de tres rectas que se cortan dos a dos en tres puntos en un plano, la intersección es una zona cerrada y acotada del plano: el *triángulo*. Cuando hay más de tres rectas y tres puntos las cosas se complican: las figuras que se definen pueden no estar en un plano, pueden no ser conexas (o sea, estar formadas por partes separadas), etc. Ello obliga a que la idea intuitiva de *polígono* como parte del plano limitada por rectas se concrete y haga más rigurosa, por ejemplo, con la definición debida a Poinsot (1777-1859), matemático francés más conocido por sus trabajos en Mecánica, que sigue:

Un *polígono* es la figura formada por una sucesión de *n* puntos arbitrarios P_1, P_2,..., P_n, cuando se unen por un segmento cada uno con el siguiente y el último con el primero. Los puntos P_1, P_2,..., P_n son los vértices, y los segmentos P_1 P_2,..., P_n P_1, los *n* lados. Si todos los puntos están en un mismo plano, el polígono se llama *plano* (si no se hace ninguna observación y no hay riesgo de error, siempre se entiende por "*polígono*" un "polígono plano"); en caso contrario se le llama *alabeado*. Usualmente se trata de polígonos *simples*, que son aquellos que no tienen dos vértices coincidentes (es decir, los P_1, P_2, ..., P_n son todos distintos), ningún vértice está contenido en el interior de un lado y dados dos lados cualesquiera no tienen ningún punto interior (es decir, distinto de los vértices) en común. Es fácil ver que un polígono simple es tal que puede transformarse homeomórficamente en una circunferencia.

Entre los polígonos se presta especial interés a los *convexos*. Son aquéllos para los que se cumple que cada lado deja a todos los vértices (menos sus extremos) en un semiplano único. La intersección de todos los semiplanos constituye el *interior del polígono*.

Es fácil obtener múltiples resultados elementales para los polígonos. Por ejemplo, los muy conocidos relativos a la suma de los ángulos de un triángulo (que es π), o a la de los de un polígono convexo de *n* lados (que es $(n - 2)\pi$).

Polígonos regulares De todos los polígonos convexos los más interesantes, y los que han gozado de mayor atención de los matemáticos, son los polígonos regulares. Son aquellos que tienen todos sus lados de la misma longitud y todos sus ángulos iguales. Es inmediato, entonces, comprender que la amplitud de cada uno de los ángulos de un polígono regular de *n* lados es $(n-2)\pi/n$ ($\pi/3$ para el triángulo, $\pi/2$ para el cuadrado, etc.). Es igualmente fácil probar que todo polígono regular puede inscribirse en una circunferencia y que, por tanto, los vértices del polígono regular de *n* lados, el *n-gono* regular, son *n* puntos equirrepartidos sobre la circunferencia, y los lados las correspondientes, cuerdas. También es obvio que desde el centro de la circunferencia (también llamado centro del *n-gono*) cada lado o cuerda se ve bajo un ángulo $2\pi/n$. Los cálculos en torno al *n-gono* regular se pueden reducir así a un problema trigonométrico; si el radio del círculo es *r*, el lado del *n-gono* será $l_n = 2r \operatorname{sen} \frac{\pi}{n}$ y la distancia del lado al centro (llamada apotema), $a_n = r \cos \frac{\pi}{n}$

Por otra parte, el problema de la construcción de los sucesivos polígonos regulares se puede ligar con otros, como el de la solución en el campo complejo de la ecuación $z^n - 1 = 0$, que, geométricamente o, si se prefiere, trigonométricamente, equivale a la división de la circunferencia en *n* partes iguales.

Si en vez de trazar la circunferencia que pasa por todos los vértices se dibuja la que es tangente a todos los lados, ésta es la circunferencia inscrita en el polígono y éste el circunscrito a la misma. Es fácil, también, en este caso, relacionar radio y lado del polígono.

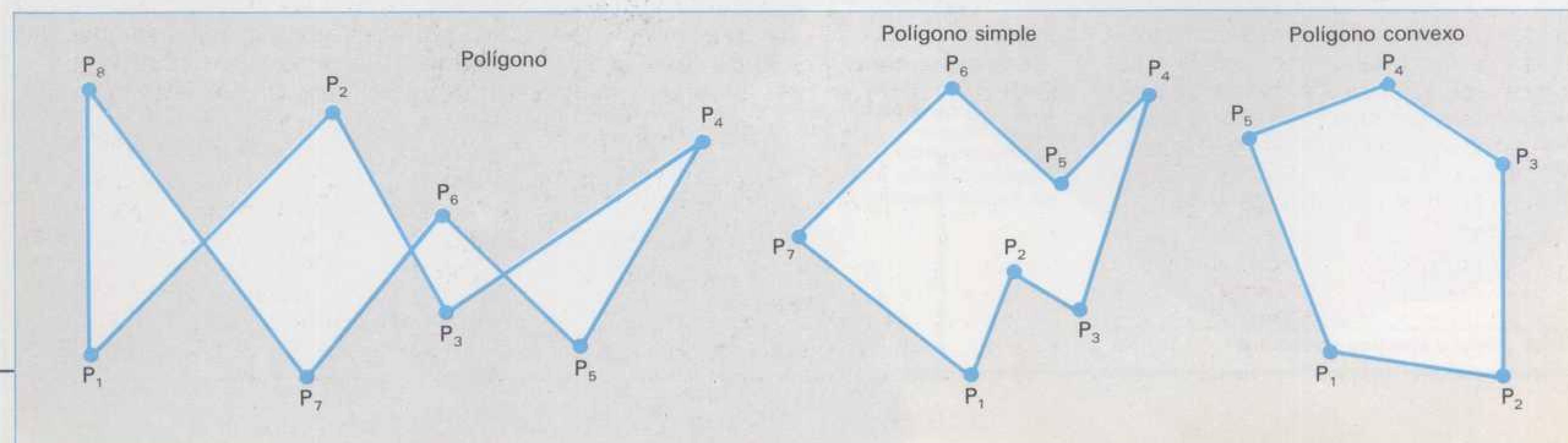
Otro problema ligado al de la construcción de los sucesivos *n-gonos* regulares es el de obtener aproximaciones sucesivas para π. Evidentemente, de un modo intuitivo, el perímetro del *n-gono* inscrito o circunscrito dividido por el diámetro del círculo será una aproximación tanto mayor a π cuanto mayor sea *n*.

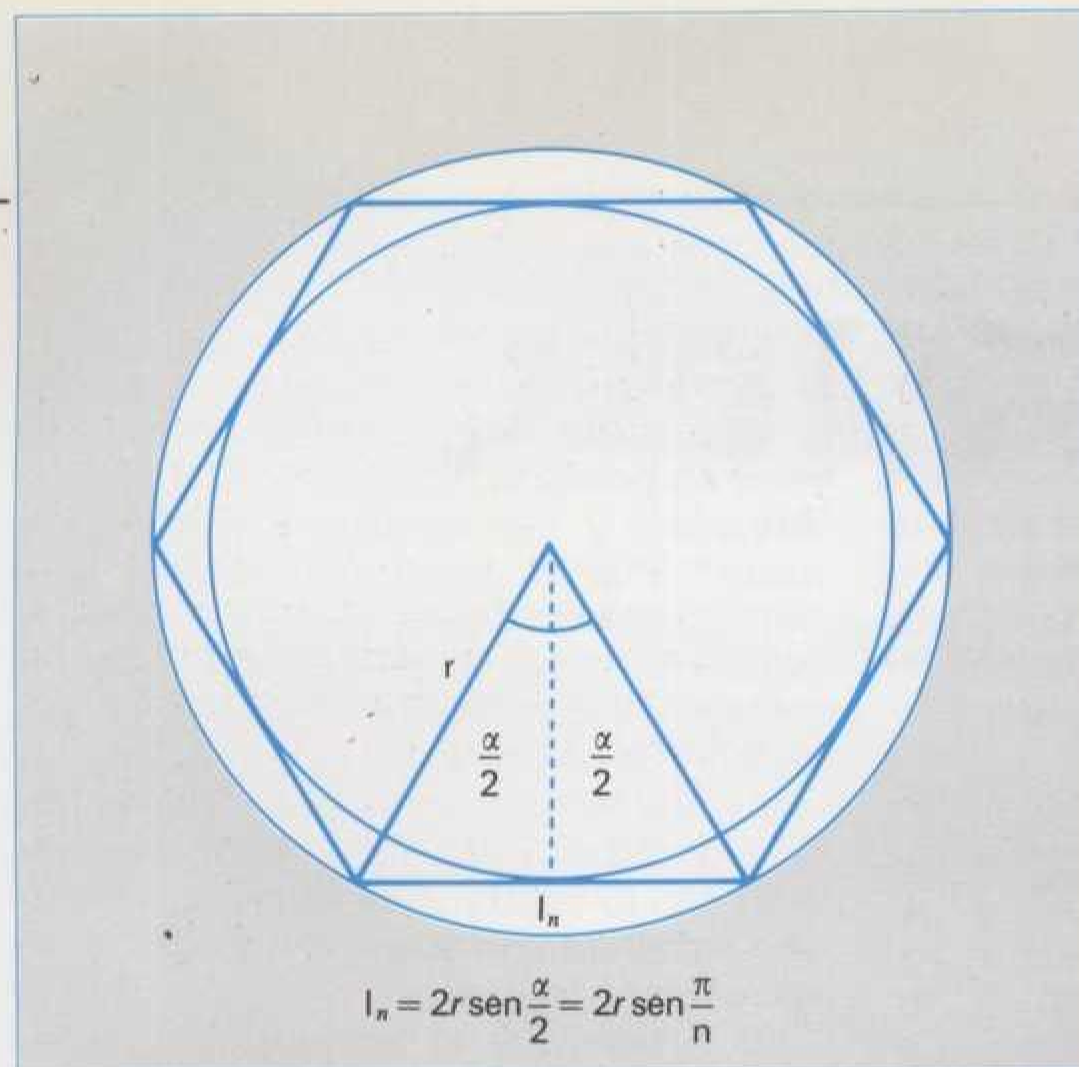
Un tipo muy sugestivo de polígonos no convexos son los *polígonos regulares estrellados*. Se obtienen del siguiente modo: se divide la circunferencia en *n* partes iguales mediante *n* puntos igualmente distribuidos; en vez de unir cada punto con el siguiente (método que conduce al *n-gono* regular) se une con el que ocupa el lugar *p* siguiente. Si *n* es múltiplo de *p* se obtiene el *m*-gono regular convexo, siendo $m = n/p$; si *n* no es múltiplo de *p*, pero *p* y *n* no son primos entre sí, se obtiene un polígono estrellado cuyo número de lados es el mínimo común múltiplo de *n* y *p* dividido por *p* (obviamente menor que *n*). Por último, si *n* y *p* son primos se obtiene el *n-gono* estrellado.

Poliedros En el espacio tridimensional existe un análogo al ángulo del plano: es el *diedro* o parte del espacio limitada por un par de semiplanos con una recta, la *arista*, común. Por otra parte, puede considerarse también el *triedro* como la intersección de los semiespacios que forman tres planos que se cortan dos a dos, en tres *aristas*, y que tienen un punto común, el *vértice*. Análogamente podrían considerarse *ángulos poliedros*, sustituyendo los *tres* planos y *tres* aristas por *n*. Una forma sencilla y diferente de definirlos es considerar un polígono (en particular un triángulo) en el plano y desde un punto exterior a éste trazar el haz de semirrectas, llamadas a veces generatrices, que definen dicho punto y cada uno de los del perímetro del polígono; queda así determinada una *superficie* cuyo *interior* sería el *ángulo poliedro* (en particular *triedro*).

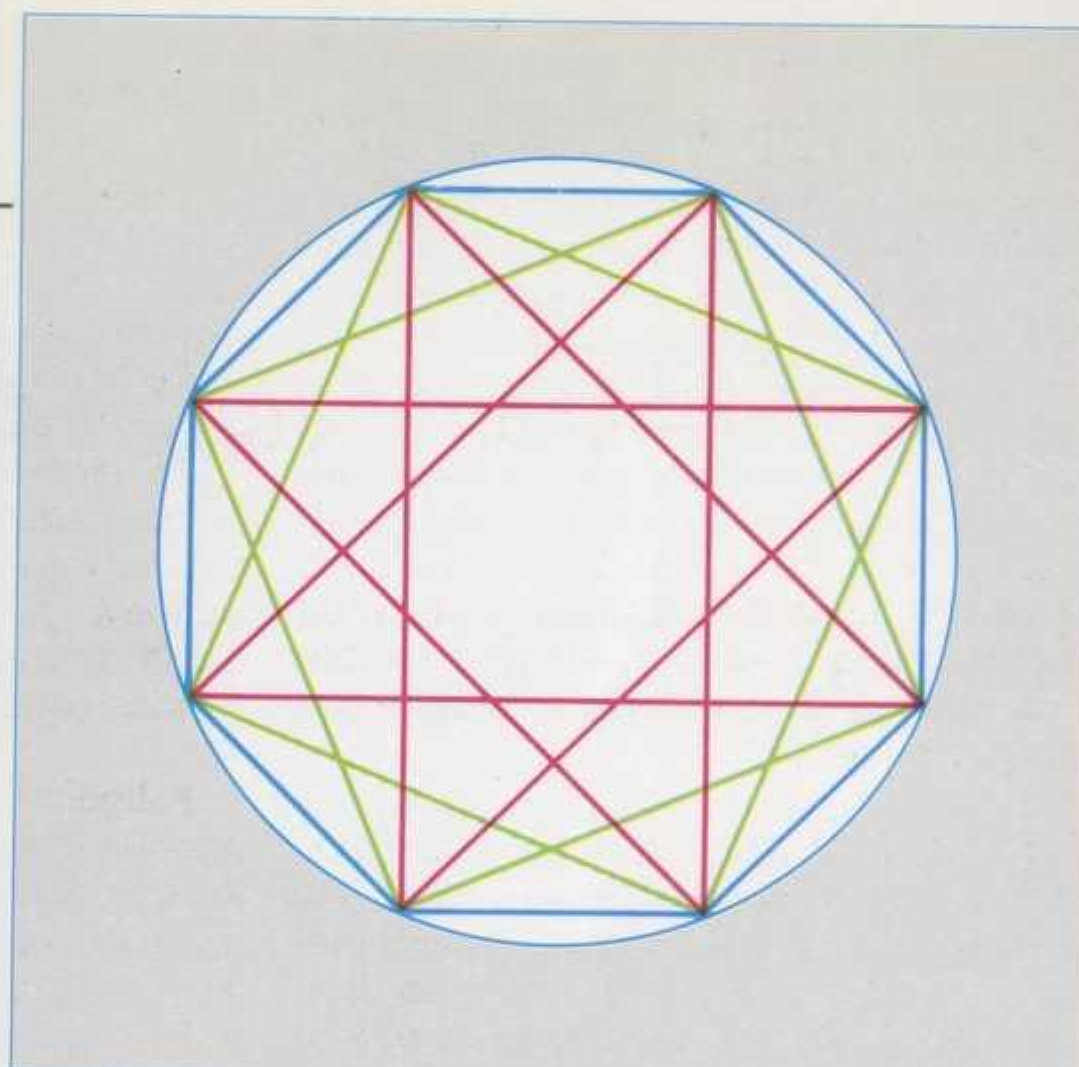
Es muy simple obtener la más sencilla de las superficies poliédricas: la *pirámide*. Basta para ello cortar por un plano, que sea secante a todas las generatrices, un ángulo poliedro.

Un espacio *prismático* es la intersección de tres o más semiespacios determinados por planos paralelos todos a una misma dirección que se cortan dos a dos en un número igual de *aristas* comunes. La superficie puede definirse también proyectando paralelamente a una dirección no contenida en un plano un polígono de éste. Los *prismas* son, simplemente, la parte de un espacio prismático comprendida entre dos planos paralelos que cortan a los que le definen.





A la izquierda, polígono regular (hexágono inscrito en un círculo y circunscrito en otro). A la derecha, octógono regular, par de cuadrados y octógono regular estrellado, inscritos en un mismo círculo.



Tanto para pirámides como para prismas se suelen reservar los nombres de *caras* y *aristas* para los polígonos y lados de éstos (y no para los planos o rectas que los contienen). Por otra parte se suelen llamar *caras laterales* a las de la pirámide que se cortan en el vértice y *base* a la que no pasa por él. Análogamente, en el prisma son *caras laterales* las paralelas a la dirección generatriz, y *bases*, las dos que cortan a las anteriores. Análoga nomenclatura es aplicable a las *aristas*.

El caso más interesante de *prisma* es el *paralelepípedo*, que es un prisma en el que las dos bases son dos paralelogramos iguales y las caras laterales cuatro paralelogramos iguales dos a dos. Se llama *paralelepípedo recto rectángulo* o, más brevemente, *ortoedro*, al que tiene la propiedad de que todas las caras son rectángulos (iguales dos a dos) y todas las caras y aristas son entre sí paralelas o perpendiculares. El ortoedro con todas las caras iguales a un mismo cuadrado es el *cubo*.

Pirámides y prismas son, quizá, los cuerpos espaciales conocidos desde más antiguo. Sin embargo, pronto se vio que no eran sino casos particulares y sencillos de *poliedros*.

Una superficie *poliédrica* es un conjunto finito de polígonos tales que cada lado de un *polígono* pertenece también a uno y sólo uno de los otros. Los polígonos se llaman *caras*, y sus lados, *aristas* del poliedro; por supuesto los *vértices* de los polígonos lo son del poliedro.

Como es sabido, la topología ha descubierto que en el espacio pueden existir superficies más o menos *extrañas*, por ejemplo con una sola cara, como la banda de Moebius, que no son orientables. Las superficies poliédricas más sencillas, conocidas desde la Antigüedad, son las *convexas*, que se caracterizan por la condición de que el plano de cada cara deja a todas las demás en un mismo semiespacio. Se llama entonces *poliedro convexo* al conjunto intersección de todos los semiespacios definidos por las caras de la superficie.

Las propiedades geométricas en torno a aristas, diagonales (segmentos que unen vértices no unidos por aristas), ángulos, etc. de los poliedros han sido estudiados durante siglos con enorme interés y grandes resultados. En lo que sigue sólo se hará referencia a algunas propiedades *esenciales* en torno a los mismos.

El teorema de Euler Se llama teorema, o fórmula, de Euler a la expresión, parece que ya conocida por Descartes, siguiente:

$$c + v - a = 2$$

en la que c, v y a representan, respectivamente, los números de caras, vértices y aristas de un poliedro convexo.

Existen muchos modos de probar la fórmula de Euler. Uno muy intuitivo es el que se da a continuación (que es, en realidad, válido para el caso más general de poliedros *simples*; es decir, aquellos que topológicamente son homeomorfos de una esfera). Supóngase que al poliedro se le suprime una de las caras y que la superficie poliédrica abierta que resulta se deforma, sin rasgarla, sin solapar unas caras sobre otras y sin adherir vértices o aristas, hasta rectificarla sobre un plano. Intuitivamente ello equivale a imaginarse dicha superficie hecha de un material plástico que pudiera deformarse continuamente hasta dejarla plana; en rigor se trata de aplicar tal superficie en una parte del plano por un homeomorfismo. Tras dicha aplicación la superficie del poliedro sin una cara se ha transformado en una red de polígonos en el plano, tal que los números de caras, vértices y aristas de una y otra coinciden.

A continuación, es fácil transformar la red de polígonos en otra que sólo tenga triángulos y que conserve el mismo valor para $c + v - a$. Basta, para ello, trazar por uno de los vértices de cada polígono las correspondientes diagonales; cada vez que se traza una de ellas se aumentan los números de caras y de aristas en una unidad cada uno y se deja invariante el de vértices; también, por lo tanto, la cantidad $c + v - a$.

Por último, una red de triángulos, como la obtenida, puede conseguirse también a partir de un solo triángulo inicial mediante las dos operaciones elementales siguientes:

Primera.- Desde un punto exterior al triángulo inicial o a la red que se haya ido formando se trazan dos segmentos que se unen con los extremos de una arista, añadiendo de este modo un vértice, una cara y dos aristas.

Segunda.- Se aumenta la red en un triángulo trazando una nueva arista, exterior a la red, entre dos vértices que no estuvieran ya unidos. Se aumentan así en una unidad los números de lados y de caras respectivamente, dejando fijo el de vértices.

En ambos casos, el valor de $c + v - a$ permanece constante; por lo tanto, dicho valor es el mismo para la red de triángulos que para el triángulo único; es decir: $1 + 3 - 3 = 1$. Para el poliedro primitivo habrá que aumentar dicha cantidad en la unidad correspondiente a la cara suprimida. Queda, pues, probado que $c + v - a = 2$.

Resulta de la demostración que el teorema no es sólo válido para poliedros convexos (hipótesis no utilizada) sino para el caso general de poliedros simples.

La fórmula de Euler tiene, naturalmente, poco que ver con la geometría entendida en el estrecho sentido con que se la estudia en los cursos elementales (es decir: con la geometría métrica elemental). Su naturaleza es topológica, ya que se conserva en los homeomorfismos; así, por ejemplo, pueden sustituirse las aristas rectas por curvas. Es más: un conjunto de puntos (vértices) sobre una esfera, o sobre una superficie homeomorfa de la misma, unidos por arcos y formando polígonos esféricos cumpliría evidentemente la misma fórmula (ya que es inmediato, en tal caso, establecer una biyección entre vértices, aristas y caras de uno y otro cuerpo). El número 2 que resulta de realizar la operación $c + v - a$ es una característica (llamada, precisamente, *característica de Euler-Poincaré*) de la esfera y de las superficies que son homeomorfas de la misma. Para otras superficies se obtienen otros valores; así, por ejemplo, para un *toro* el número es 0.

Volviendo a la fórmula de Euler, se comprende fácilmente que puede servir para obtener interesantes propiedades de los poliedros. Si se consideran poliedros convexos es evidente que los números de caras, vértices y aristas, además de estar relacionados por la fórmula de Euler, deben cumplir que: $3v \leqslant 2a$ y $3c \leqslant 2a$, ya que

en cada vértice concurren *tres* o más aristas y cada arista une *dos* vértices y cada cara tiene como mínimo tres lados, cada uno de los cuales es común a dos caras. Combinando la fórmula de Euler con las relaciones anteriores se obtienen resultados inmediatos y sencillos como los siguientes:

a) Para un poliedro convexo deben ser $c \geqslant 4$, $v \geqslant 4$ y $a \geqslant 6$.

b) No hay un poliedro convexo de 7 aristas.

c) No hay poliedros convexos tales que todas las caras tengan más de cinco lados.

d) No hay poliedros convexos tales que en todos los vértices concurran más de cinco aristas.

Por otra parte, es evidente que, en todas las fórmulas y en los resultados obtenidos a partir de ellas, los números c y v de caras y vértices son intercambiables. Ello permite definir como poliedros *duales* o *conjugados* a aquellos que, teniendo igual número de aristas, el de vértices de uno coincide con el de caras del otro y recíprocamente (Existen métodos para construir uno a partir de otro y para demostrar que si uno es convexo el otro lo es igualmente).

Los poliedros regulares También es fácil, a partir de la fórmula de Euler, probar que sólo pueden existir cinco poliedros *regulares*, en el sentido que la geometría elemental da a tal calificativo: poliedros convexos con todas las caras iguales a un único polígono regular y tales que en cada vértice concurren un mismo número de aristas.

En efecto: supóngase que el poliedro regular viene definido por los dos números m y n que dan, respectivamente, el número de aristas concurrentes en cada vértice y el número de las mismas que constituyen los lados de una cara. Se tiene, entonces, que $vm = cn = 2a$, ya que si se multiplican el número de vértices por el de aristas que se encuentran en cada uno, o el de caras por el número de lados de una de las mismas, se obtiene, obviamente, el doble del número total de aristas (cada arista une *dos* vértices y es común a *dos* caras).

Por otra parte, combinando dichas relaciones con la fórmula de Euler se obtiene la expresión que liga m y n con el número de aristas:

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{n} - \frac{1}{2} = \frac{1}{a}$$

Por otra parte, es obvio que $m \geqslant 3$, $n \geqslant 3$ y que $1/a$ debe ser positivo.

Las anteriores condiciones sólo se cumplen, si $m = 3$, cuando n vale 3, 4 ó 5, pero no 6 ó números superiores, ya que $1/3 + 1/n - 1/2$ se anula o hace negativo en tales casos. Análogamente, si $m = 3$, n sólo puede valer 3, 4 ó 5. Por otra parte m y n no pueden ser, simultáneamente, superiores a 3, ya que $1/m + 1/n - 1/2$ se anula para $m = n = 4$ y se hace negativo si alguno de ellos toma un valor mayor que 4.

En resumidas cuentas: la fórmula de Euler y las condiciones necesarias de regularidad se cumplen simultáneamente sólo si el par (m, n) es uno de los siguientes: (3,3), (3,4), (3,5), (4,3) y (5,3). Cada uno de ellos conduce, de inmediato, a una terna de valores posibles para c, v y a. En la tabla siguiente se dan los resultados y el nombre que podría darse (por el número de caras) al posible poliedro regular correspondiente:

Nombre	*c*	*v*	*a*	*m*	*n*
Tetraedro	4	4	6	3	3
Hexaedro (o cubo)	6	8	12	3	4
Octaedro	8	6	12	4	3
Dodecaedro	12	20	30	3	5
Icosaedro	20	12	30	5	3

Se ha probado, pues, que sólo pueden existir los cinco poliedros regulares correspondientes a los citados valores de m, n, c, v, a. Pero no se ha probado que éstos existan de hecho. Para ello será suficiente construirlos, lo que se sabe hacer de antiguo. A continuación se indican esquemáticamente (sin entrar en detalles y sin desarrollar las demostraciones) los métodos correspondientes.

Tetraedro. Dado un triángulo equilátero, que se toma como base, se levanta por el centro del mismo la perpendicular al plano que le contiene. Dicha recta tiene la propiedad de que sus puntos equidistan de los tres vértices de la base. Basta para tener el tetraedro determinar en dicha recta el punto cuya distancia común a los vértices sea igual al lado del triángulo de la base.

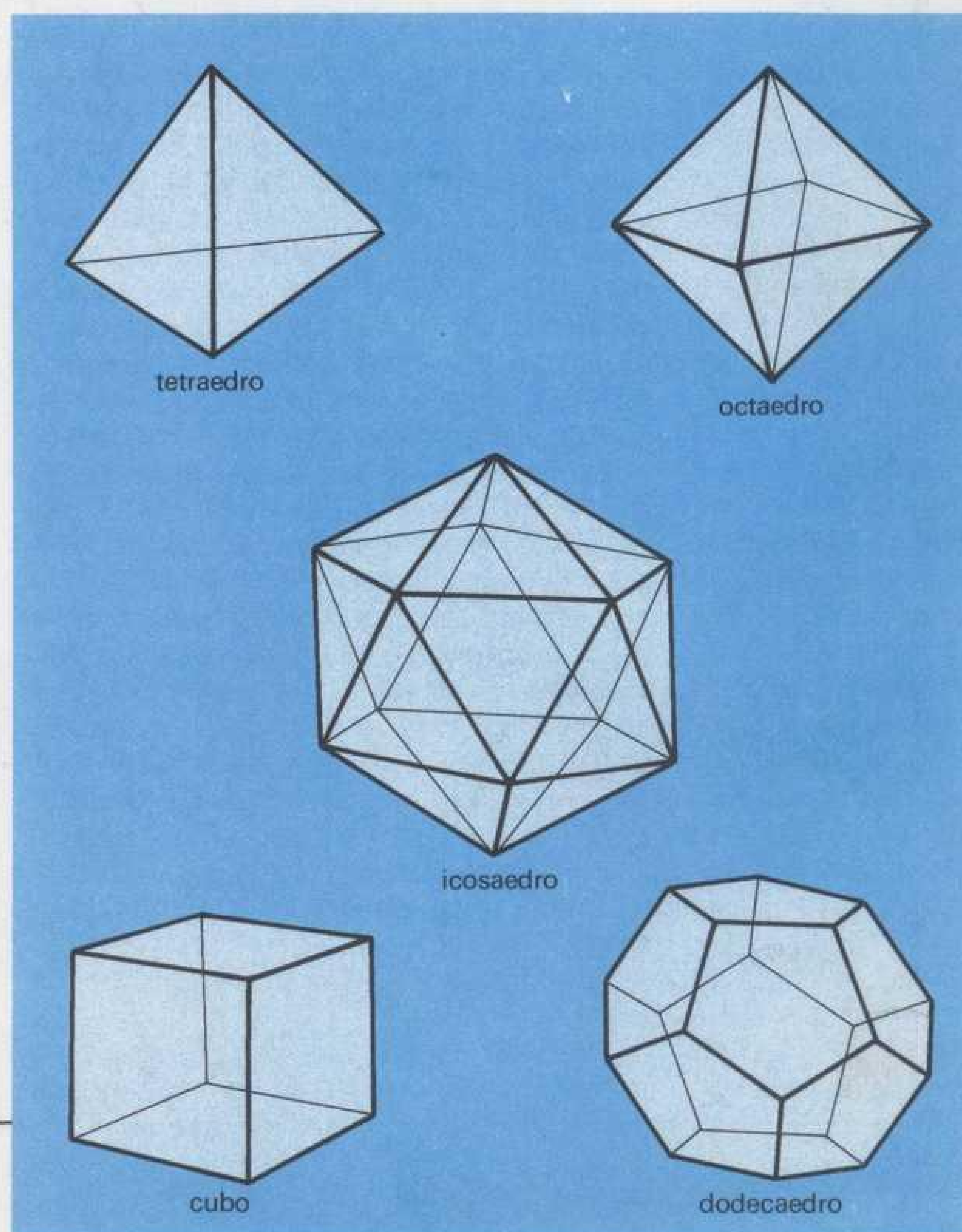
Cubo. Se toma un cuadrado como base. Por cada vértice se levantan perpendiculares al plano que le contiene y se toma en cada una la distancia igual al lado del mismo. Se unen los cuatro puntos así determinados y se obtiene el cubo.

Dodecaedro. Sobre el plano se dibujan seis pentágonos regulares iguales; uno de ellos en posición central y los otros cinco alrededor y con un lado común con el mismo. Puede construirse fácilmente, a partir de dicha figura plana, un casquete poliédrico formado por una base pentagonal y cinco pentágonos alrededor formando diedros iguales con la base y entre sí (para ello basta girar los polígonos periféricos alrededor del lado que tienen común con el central). Por último se une dicho casquete con otro igual, ajustando los *entrantes* y *salientes*.

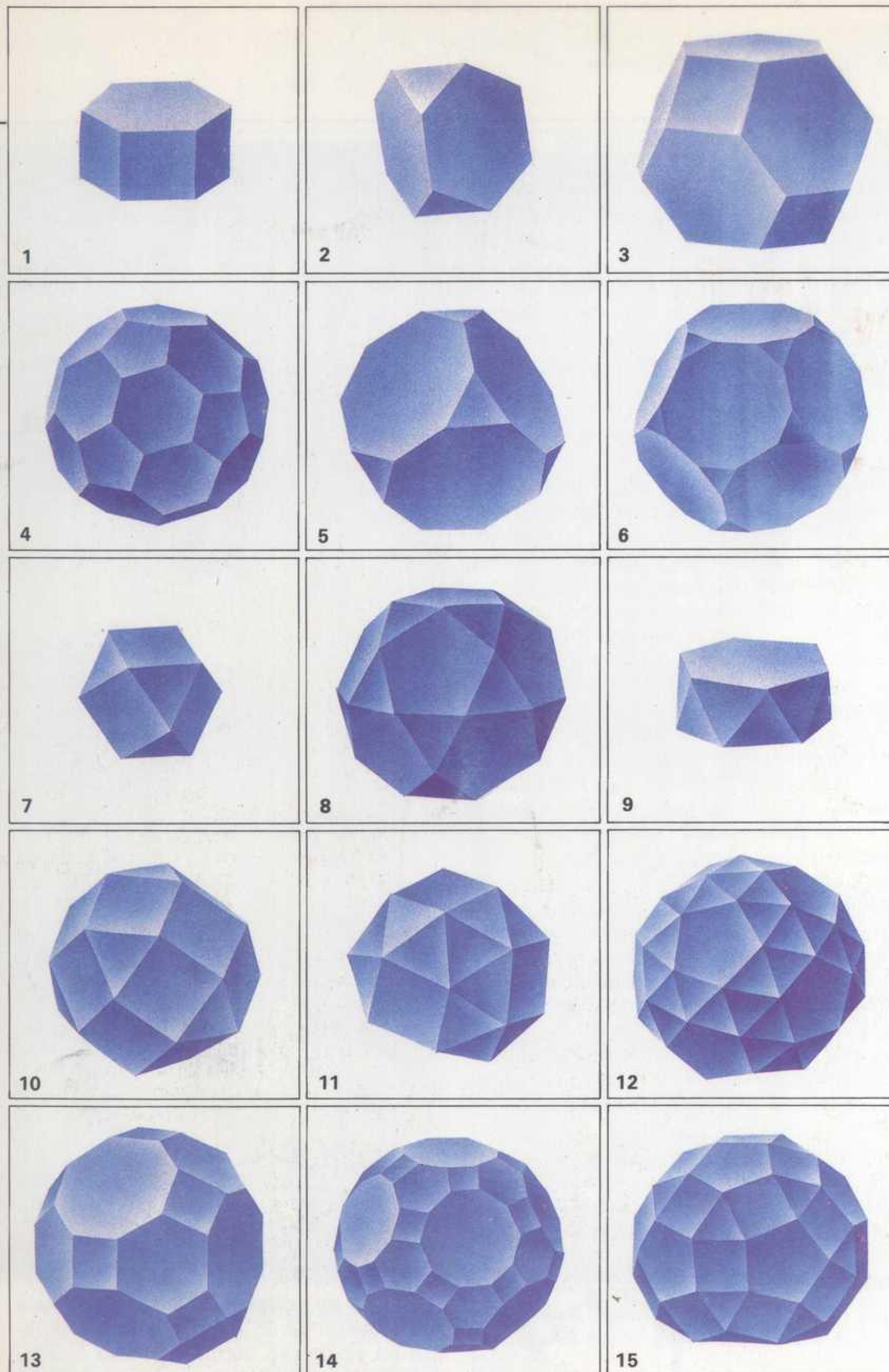
El *octaedro* y el *icosaedro* regulares son simplemente los conjugados, respectivamente, del cubo y del dodecaedro, como se deduce del examen de la tabla de características. Conviene señalar al respecto que el tetraedro es autoconjugado. La construcción efectiva (y la consiguiente demostración de *regularidad*) puede conseguirse tomando como vértices los centros de las caras de sus poliedros conjugados.

Es posible, de forma elemental o, en algunos casos, recurriendo a conocimientos matemáticos superiores, deducir numerosas propiedades de los poliedros regulares. Muchas están relacionadas con la de que los mismos pueden inscribirse y circunscribirse en la esfera.

Los "cuerpos cósmicos" Los poliedros regulares citados tienen una larga historia. Se les suele llamar poliedros o cuerpos *perfectos* o *cósmicos* y también sólidos *pitagóricos* o *platónicos*. Se atribuye a Pitágoras, o a su escuela, el estudio



A la izquierda, los cinco poliedros regulares.
A la derecha, los 15 poliedros semirregulares o arquimedianos:
1. Prisma regular (caso particular de base hexagonal).
2. Tetraedro truncado.
3. Octaedro truncado.
4. Icosaedro truncado.
5. Cubo truncado.
6. Dodecaedro truncado.
7. Cubo-octaedro.
8. Icosi-dodecaedro.
9. Antiprisma (caso particular de base hexagonal).
10. Rombi-cubo-octaedro.
11. Cubo obtuso.
12. Dodecaedro obtuso.
13. Cubo-octaedro truncado.
14. Icosi-dodecaedro truncado.
15. Rombi-icosi-dodecaedro.



y los métodos de construcción de los cinco poliedros regulares. Sin embargo, hay datos para opinar que los pitagóricos no construyeron los cinco y que el icosaedro, y tal vez el octaedro, son fruto de matemáticos posteriores. Se atribuye a Teeteto (*ca* 414 - 369 a. de C.), amigo de Platón, al que éste dedicó uno de sus "diálogos", haber sido el primero en escribir sobre los mismos sistemáticamente y, probablemente, haber demostrado —con cálculos directos y sin usar la fórmula de Euler, ¡claro está!— que sólo podía haber cinco poliedros regulares.

Platón, en el *Timeo*, habla de los cinco poliedros, dando una descripción geométrica y ciertas propiedades de los mismos. Los griegos, por otra parte, asociaban los cuatro poliedros cuyas caras son triángulos o cuadrados, reducibles a triángulos isósceles —tetraedro, octaedro, icosaedro y cubo— a los cuatro elementos básicos de su cosmogonía —fuego, aire, agua y tierra, respectivamente— mientras que el dodecaedro, constituido por pentágonos no reducibles, según ellos, a triángulos elementales, como decía Platón en el citado diálogo, fue del que "el dios se sirvió cuando esbozó la disposición final del todo".

La utilización de los poliedros regulares para explicar fenómenos físicos o metafísicos, de modo más o menos racional, más o menos mágico, no es sólo cosa de los antiguos. Dichos cuerpos siempre han ejercido una suerte de fascinación y, en tiempos tan recientes como los de Kepler (1571-1630), éste ideó una pintoresca teoría sobre los cinco sólidos platónicos o cósmicos y las posiciones de los seis planetas que él conocía (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter y Saturno). Lo más curioso es que Kepler, que desarrolló tales ideas muy joven, en su libro *Mysterium Cosmographicum* (1595), las mantuvo toda su vida y, ¡más difícil todavía!, parece que le sirvieron de inspiración para descubrir sus famosas leyes sobre el movimiento planetario (fundamentales para el desarrollo de la Mecánica por Newton).

Otros poliedros curiosos El gran interés que siempre han suscitado los poliedros regulares no ha sido obstáculo, sino todo lo contrario, para que, durante siglos, se haya buscado otros tipos de cuerpos poliédricos que tuvieran también ciertos rasgos de regularidad, simetría y belleza.

Uno de dichos casos es el de los poliedros con *vértices uniformes*. Se llama así a aquellos poliedros que cumplen dos condiciones análogas, pero más amplias, que las de los regulares: el número de aristas es igual en todos los vértices y en cada uno de ellos concurren un mismo número de polígonos, cuyo número de lados es 3, 4, ... y *n* (con *n* arbitrario). Se puede probar que, con tales condiciones y la ecuación de Euler, sólo existen, aparte de los reguladores ya estudiados, 15 tipos de poliedros, de los cuales la mayoría están totalmente determinados, salvo dimensiones de las aristas, pero dos admiten además infinitas posibilidades en cuanto a número de caras.

Si a las condiciones impuestas a los poliedros uniformes se añade la de que las caras de 3, 4, ... *n* lados que los forman sean regulares, se obtiene una interesante familia llamada de los poliedros *semirregulares* (o *arquimedianos* porque ya los conocía Arquímedes), que también son 15, aunque en dos casos sea posible dar infinitas versiones, y, naturalmente, puedan obtenerse de modo menos artificial, por ejemplo truncando prismas o poliedros regulares, entre otros métodos.

Otro curioso tipo de cuerpos poliédricos es el de los llamados *poliedros regulares estrellados* (análogos en cierto sentido a los polígonos estrellados de la geometría plana). Se trata de lo siguiente: si se tiene un poliedro regular, ¿qué sucede si se unen los vértices no contiguos? ¿será posible conseguir una superficie poliédrica cuyas caras sean polígonos regulares, convexos o estrellados y tal que en todos los vértices concurran un mismo número de aristas? El ya citado Poinsot demostró que sólo existían cuatro de dichos poliedros:

— El *dodecaedro regular estrellado* de caras pentágonos estrellados, concurrentes tres por vértice.

— El *dodecaedro regular estrellado* de caras pentágonos convexos, concurrentes cinco por vértice.

— El *dodecaedro regular estrellado* de caras pentágonos estrellados, concurrentes cinco por vértice.

— El *icosaedro regular estrellado* de caras triángulos, concurrentes cinco por vértice.

Véase **Areas y volúmenes; Banda de Moebius y botella de Klein; Convergencia; Geometrías; Topología; Trigonometría**

Polímeros

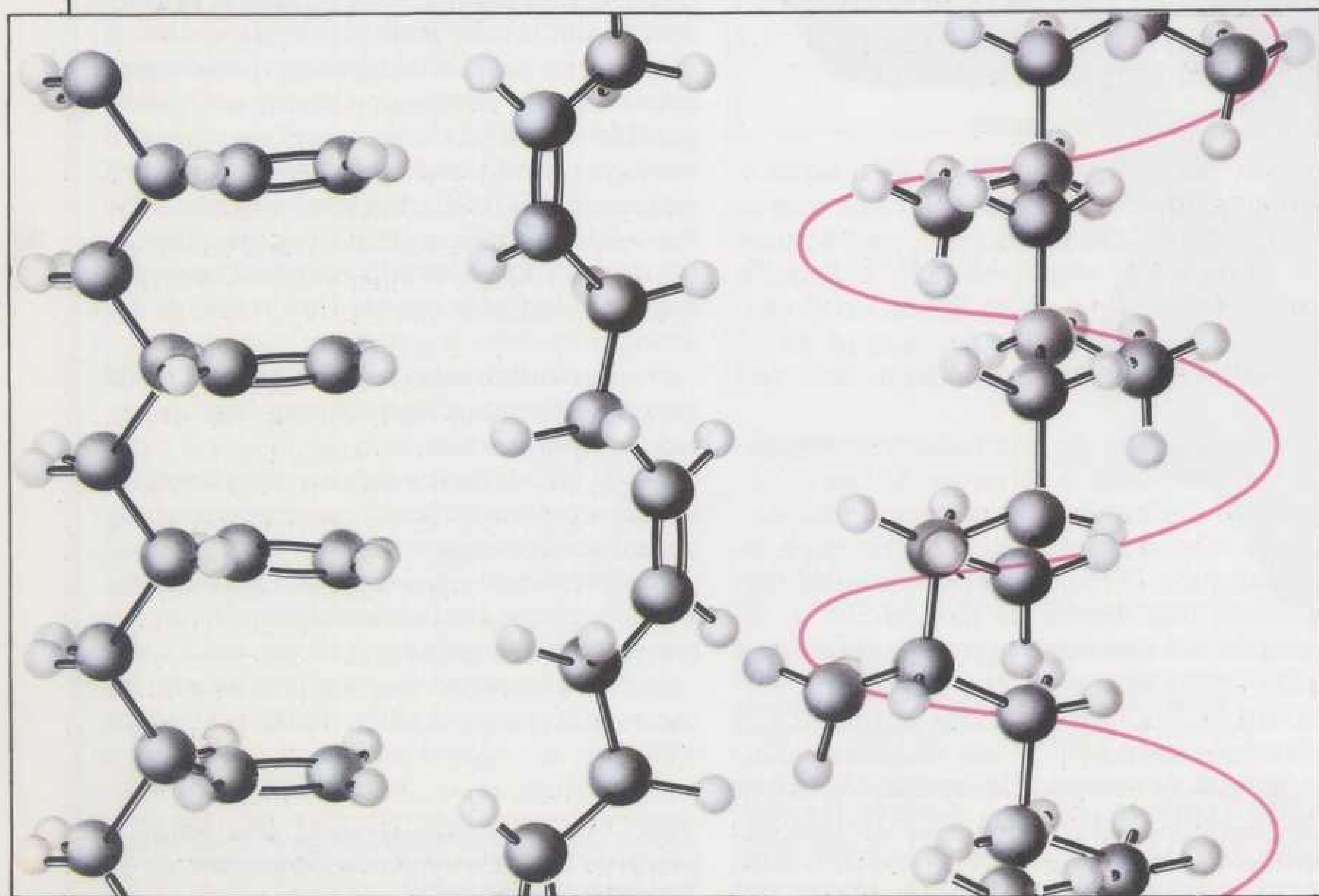
El término *polímeros* (del griego *polys*, muchas y *merós*, partes), se utiliza para designar ciertos tipos de grandes moléculas formadas por una secuencia o cadena de unidades moleculares menores, llamadas *monómeros*. Muchas sustancias, tanto naturales como artificiales, presentan la estructura de polímeros. Las plantas y los árboles deben su rigidez a la celulosa, a la lignina y a algunas resinas, las cuales son todas polímeros. Las alas y el esqueleto exterior de algunos insectos, las patas de las langostas y de los cangrejos pueden crecer gracias a la presencia de un polímero denominado quitina. Los seres humanos y los mamíferos se desarrollan merced a las proteínas, polímeros que permiten el crecimiento del cabello, de las uñas, de las garras, de los cuernos y de la piel. También los ácidos nucleicos contenidos en las células de nuestro cuerpo, como el compuesto ADN, fundamental para los fenómenos genéticos, son polímeros.

El empleo habitual de determinados productos por parte de diversas civilizaciones y culturas a lo largo de la historia está íntimamente ligado a las propiedades de los polímeros, aunque entonces se desconociese el origen de tales propiedades. El vidrio, la porcelana y las gomas son productos empleados por el hombre desde hace varios siglos, aunque hasta el siglo pasado no fue posible empezar a conocer la composición química exacta de estas sustancias.

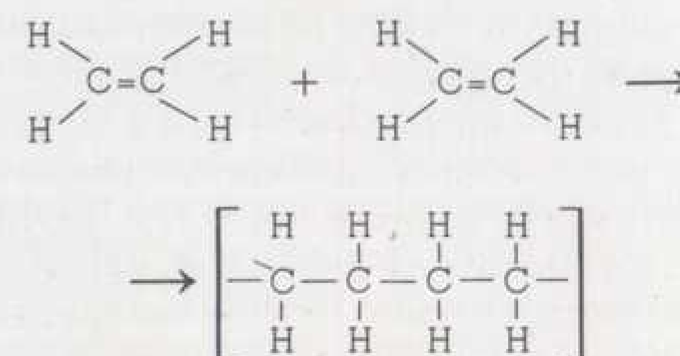
Los químicos del siglo XIX estaban desconcertados por el comportamiento de algunos compuestos que tenían la peculiar característica de transformarse de un fluido viscoso en un sólido maleable y elástico. Las ilimitadas posibilidades de empleo de estos compuestos fueron evidentes desde el principio —materiales plásticos, sustancias aislantes, productos impermeables al agua— pero su proceso de formación y su reproducción no podían aún ser determinados con precisión. Fue ya en 1909 cuando el químico belga Leo H. Baekeland descubrió que se podía obtener una sustancia rígida y resistente haciendo reaccionar, en condiciones controladas, fenol y formaldehído, ambos en estado líquido. El compuesto plástico obtenido con esta reacción, denominado *bakelita*, fue el primer polímero producido sintéticamente, siendo empleado desde entonces para aislamientos eléctricos y para envolturas protectoras de aparatos. Los trabajos de Baekeland fueron básicos para el posterior desarrollo de los procesos de polimerización que llevaron a la preparación de varios polímeros sintéticos. Los éxitos obtenidos en este campo de la química crearon las premisas para el nacimiento de una colosal industria de producción de materias plásticas y de muchos otros productos sintéticos.



Los polímeros son compuestos, en general orgánicos, formados por la unión de varios monómeros, o moléculas simples. Esta agregación se obtiene a través de reacciones de polimerización. Los polímeros, que pueden estar compuestos por centenares de unidades monoméricas, se definen según dos magnitudes: el número de unidades monoméricas enlazadas (grado de polimerización) y la masa molecular (obtenida multiplicando el grado de polimerización por la masa molecular del monómero). Abajo, modelos moleculares de tres polímeros. A la izquierda, el polibutadieno 1,2 sindiotáctico y, en el centro, el 1,4 cis-polibutadieno: ambos se obtienen del butadieno que se hace polimerizar de forma diferente en función de la posición ocupada por los átomos de carbono que constituyen la cadena polimérica. A la derecha, cadena molecular del polipropileno isotáctico, cuya producción tiene lugar gracias al empleo de catalizadores de Zingler-Natta. Está dotado de buenas características mecánicas, térmicas y eléctricas. Forma parte de los polímeros termoplásticos y es usado en numerosos campos.



Qué es un polímero La característica fundamental de un polímero queda explícita en su propio nombre: es una combinación de varias unidades simples. Tales unidades se denominan monómeros, del griego *mono* (única) y *merós* (parte). Cuando los monómeros se combinan entre sí, en presencia de un catalizador o de un iniciador químico, forman cadenas resistentes y flexibles, que pueden hacerse tan largas como lo permita el número de monómeros que intervienen en la reacción. La cadena resultante es una macromolécula. El proceso puede ser representado por una ecuación química como la siguiente (válida para la polimerización del etileno):

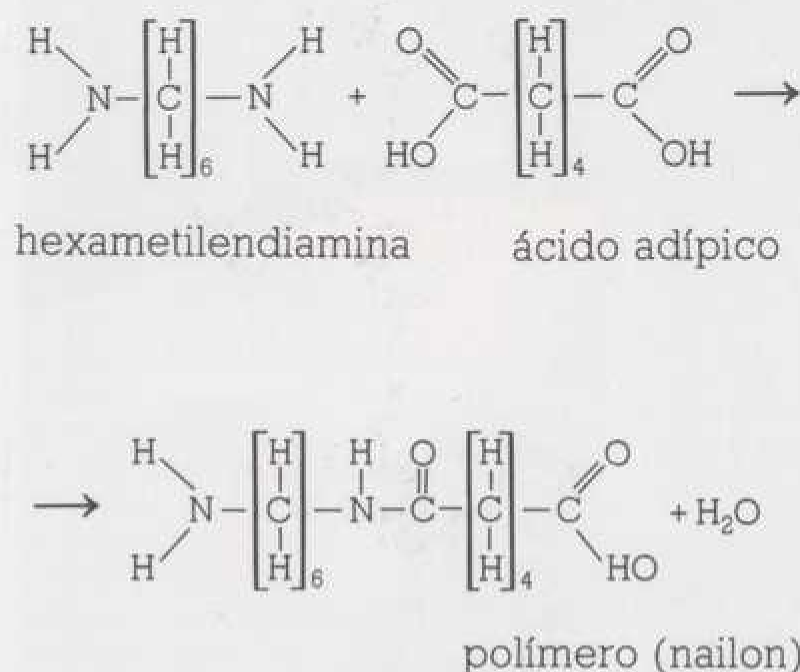




A la izquierda, sección de una planta química para la producción de polímeros sintéticos. La gran demanda de materias plásticas ha llevado a la realización de plantas industriales de grandes dimensiones. En la foto, las unidades de prepolimerización para la producción de poliestireno

Cuando dos moléculas de etileno reaccionan entre sí en presencia de un catalizador, los respectivos dobles enlaces carbono-carbono se convierten en enlaces simples, dejando un enlace libre en cada extremo de la cadena que se ha formado por la unión de ambas moléculas. Cada uno de estos enlaces libres puede engancharse a otras cadenas similares parciales, creando así una única cadena larga o macromolécula. En el ejemplo citado se obtiene el compuesto polimérico polietileno (cuyo significado sería "muchos etilenos"). Todos los compuestos poliméricos se denominan añadiendo el prefijo poli al compuesto químico del cual derivan.

En la reacción antes indicada el polímero se forma por adición. Algunos polímeros se obtienen también por reacción de condensación, en la cual una parte del monómero de partida se elimina de la cadena polimérica que se forma. Por ejemplo, el nailon es un producto de condensación en el que se ha eliminado una molécula de agua (H_2O). Los dos monómeros que en este caso toman parte en la reacción son la hexametilendiamina ($H_2N\,(H_2)_6\,NH_2$) y el ácido adípico ($HO\,OC\,(CH_2)_4\,COOH$):

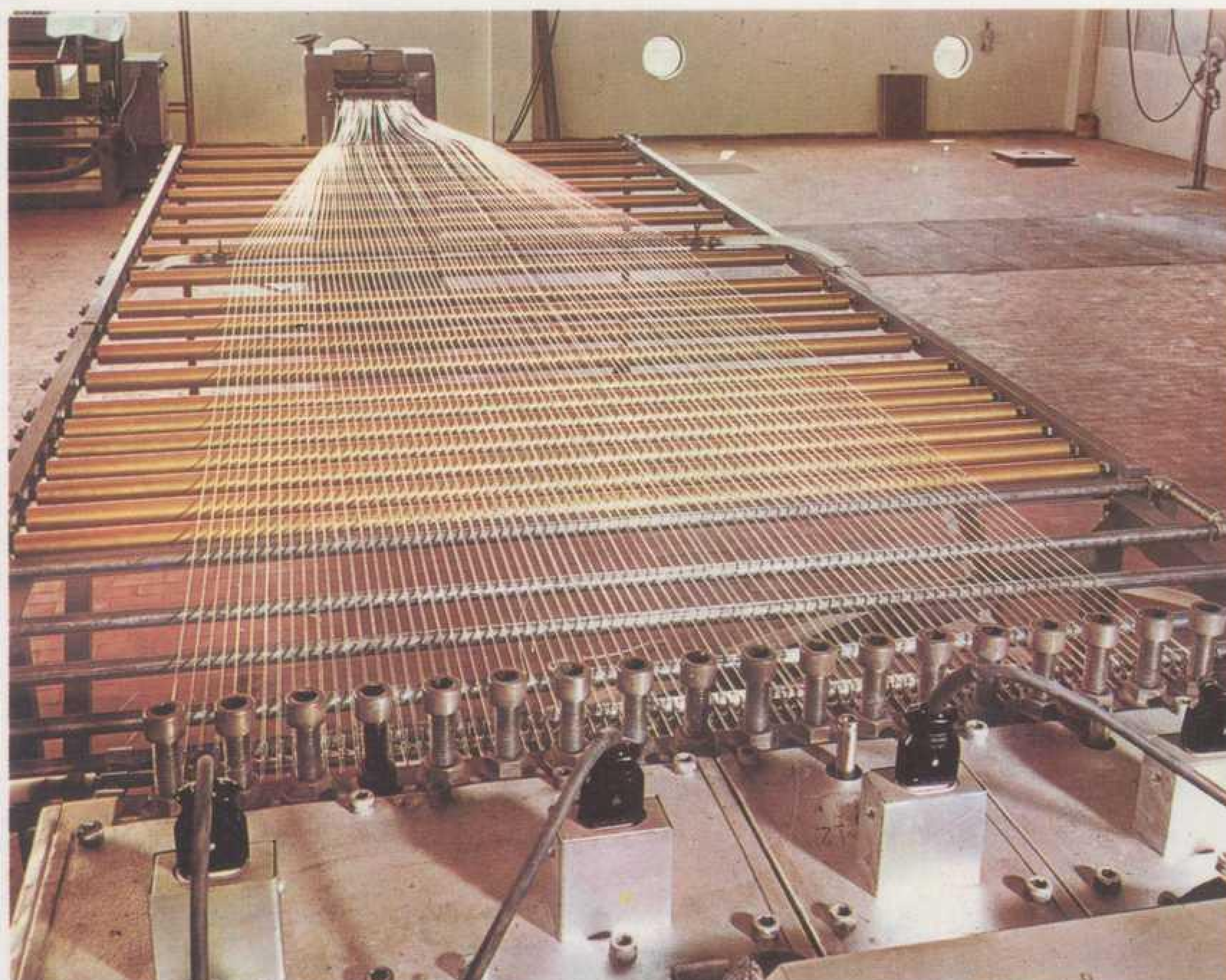


En la mayor parte de las reacciones de policondensación, como en la indicada arriba, los monómeros componentes del polímero son compuestos químicos diferentes entre sí; en este caso se obtiene en realidad un copolímero. Las polimerizaciones de este tipo son, en general, muy útiles, puesto que la combinación de compuestos químicos de diferentes características puede llevar a la formación de compuestos poliméricos o de otros productos sintéticos que asumen las características más interesantes de los distintos monómeros correspondientes.

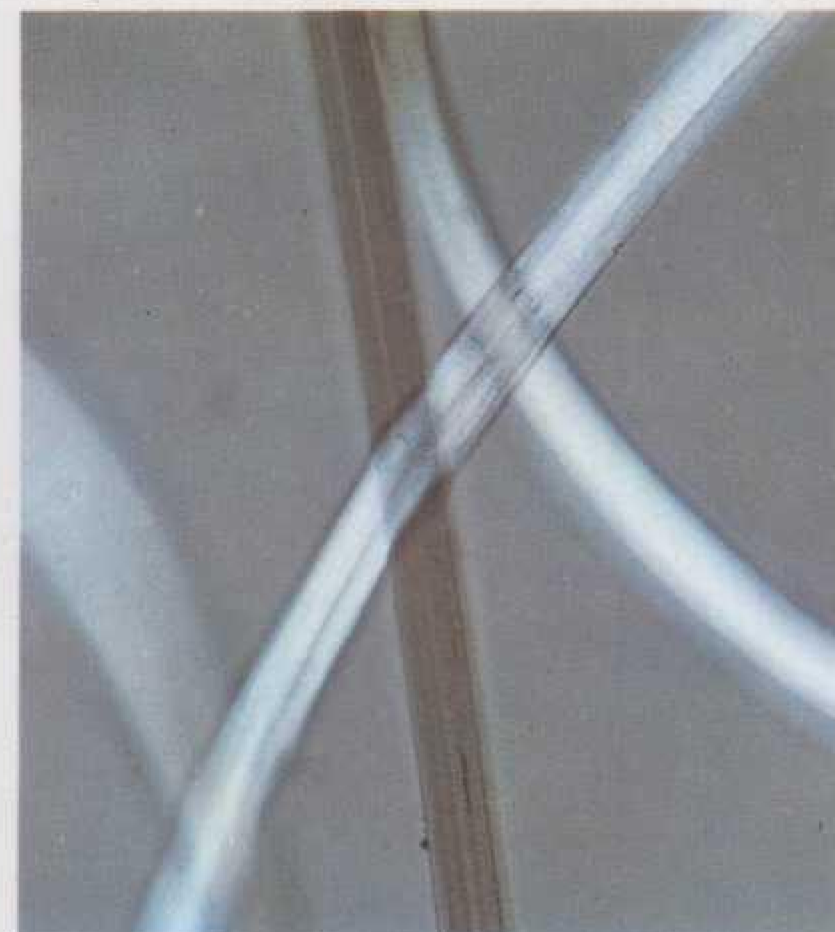
Las características mecánicas de los polímeros La resistencia de los polímeros depende, por un lado, del tipo de enlace que une las cadenas y, por otro, de cómo estén dispuestas tales cadenas. Los polímeros poseen masas moleculares muy elevadas, ya que sus cadenas pueden prolongarse indefinidamente, adicionando las moléculas de los monómeros presentes. Los polímeros sintéticos tienen masas moleculares que varían entre 20.000 y 500.000 (referidas a la masa del átomo de hidrógeno, tomada como unidad). Las proteínas tienen una masa molecular que puede alcanzar valores de millones.

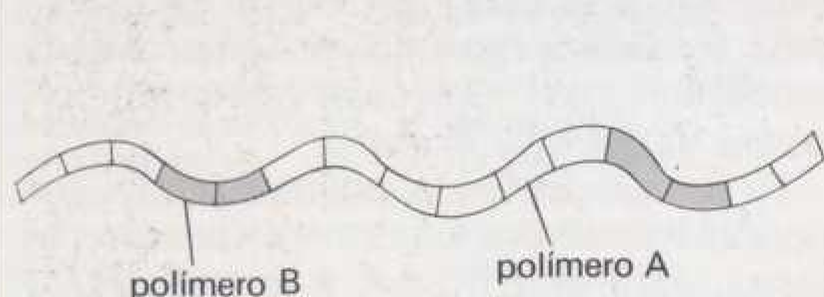
En los procesos de polimerización, los monómeros se unen entre sí formando cadenas tanto más rígidas y largas cuanto más aumente la masa molecular en el transcurso de la reacción. Una vez formadas, las cadenas poliméricas son muy difíciles de separar: resisten la acción de muchas sustancias disolventes, en particular del agua. Esto explica por qué los polímeros se emplean frecuentemente en las pinturas y barnices resistentes al agua. Polímeros, como los de la clase vinílica, son a menudo empleados para materiales hidrófugos (o hidrófobos), como por ejemplo tubos para conducciones de agua, prendas impermeables, etcétera.

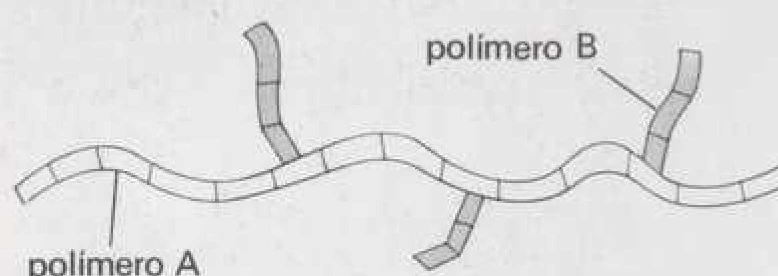
La configuración de las cadenas Las reacciones arriba descritas podrían sugerir que las cadenas de los polímeros son siempre rígidas y lineales, pero esto está bien lejos de la realidad. Uno de los más conocidos polímeros naturales, la goma, por ejemplo, debe sus características precisamente a la posibilidad de que sus cadenas moleculares se alargan sin llegar a romperse, mientras que la característica tal vez más notable de los polímeros plásticos es que tales productos pueden ser moldeados y conformados dándoles la forma deseada. Un factor fundamental que determina estas peculiaridades es el tipo de configuración de las cadenas. Una estructura típica es la de la cadena lineal, como es el caso del polietileno (llamado precisamente lineal). Esta característica lineal no forma una línea totalmente recta, sino que toma en el espacio una forma ondulada y en zig-zag como la siguiente:



A la izquierda, fase de producción de polimetil-metacrilato, en la cual el polímero es hilado después del proceso de granulación. Este polímero, que pertenece a las resinas acrílicas, se comercializa con las marcas plexiglás, perspex, vedril, y se aplica como sustituto del vidrio.
Abajo, fibras de cloruro de polivinilo aumentadas 250 veces y observadas con luz polarizada.





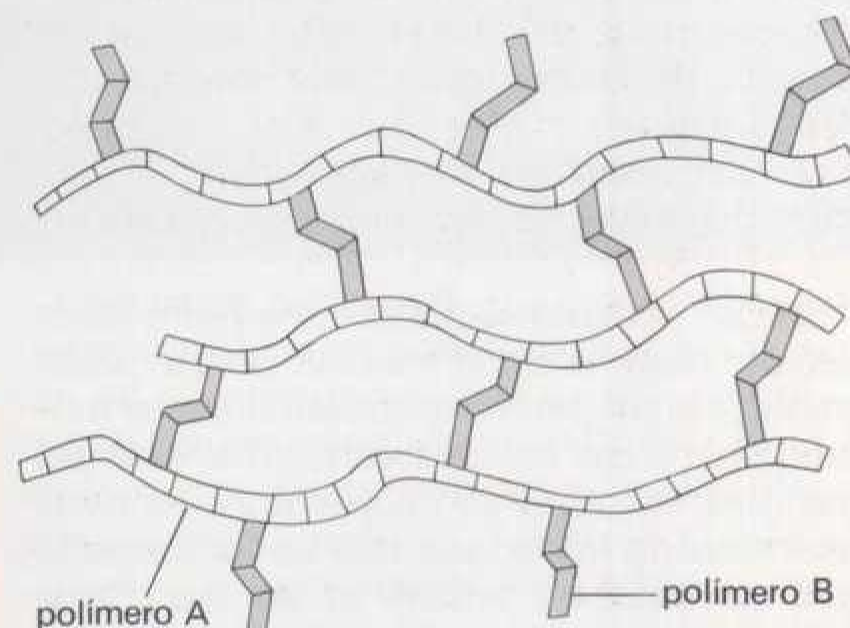


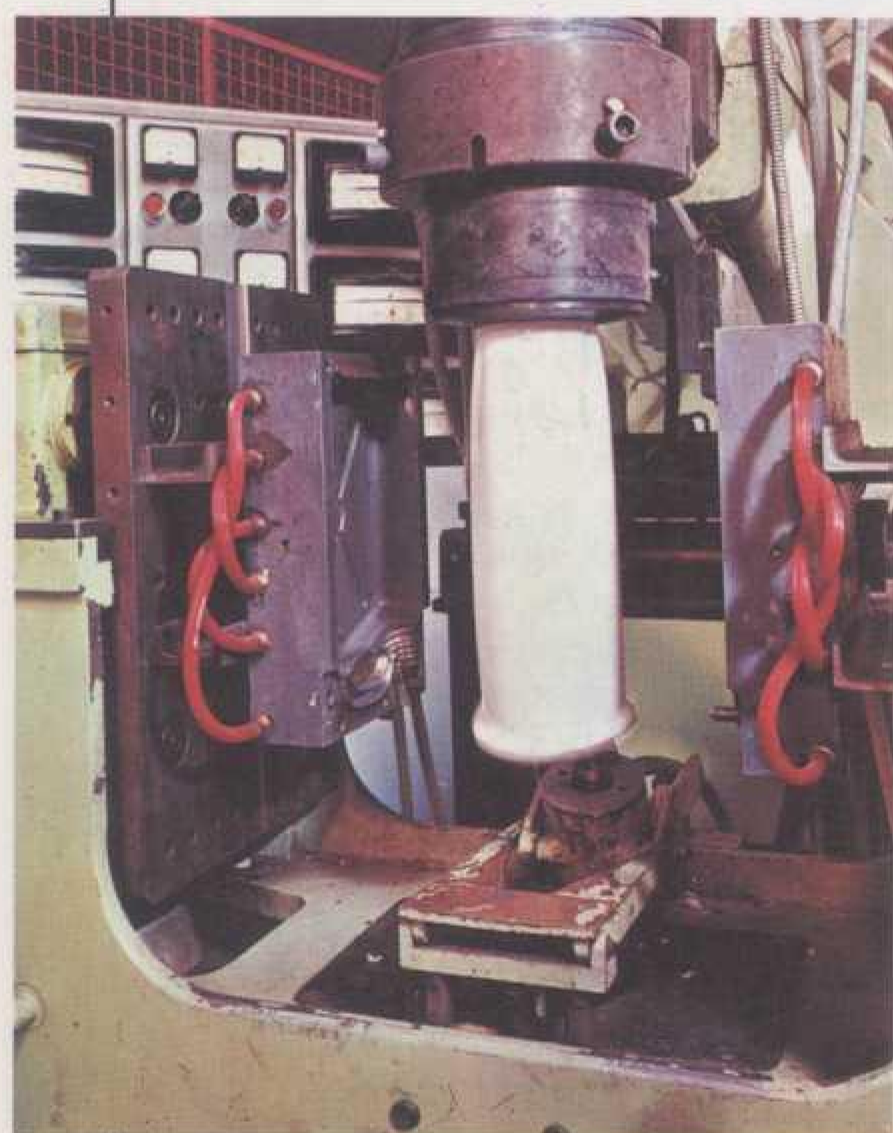
Las propiedades elásticas de algunos polímeros derivan en parte de la posibilidad que presentan estas cadenas "onduladas" de alargarse y encogerse.

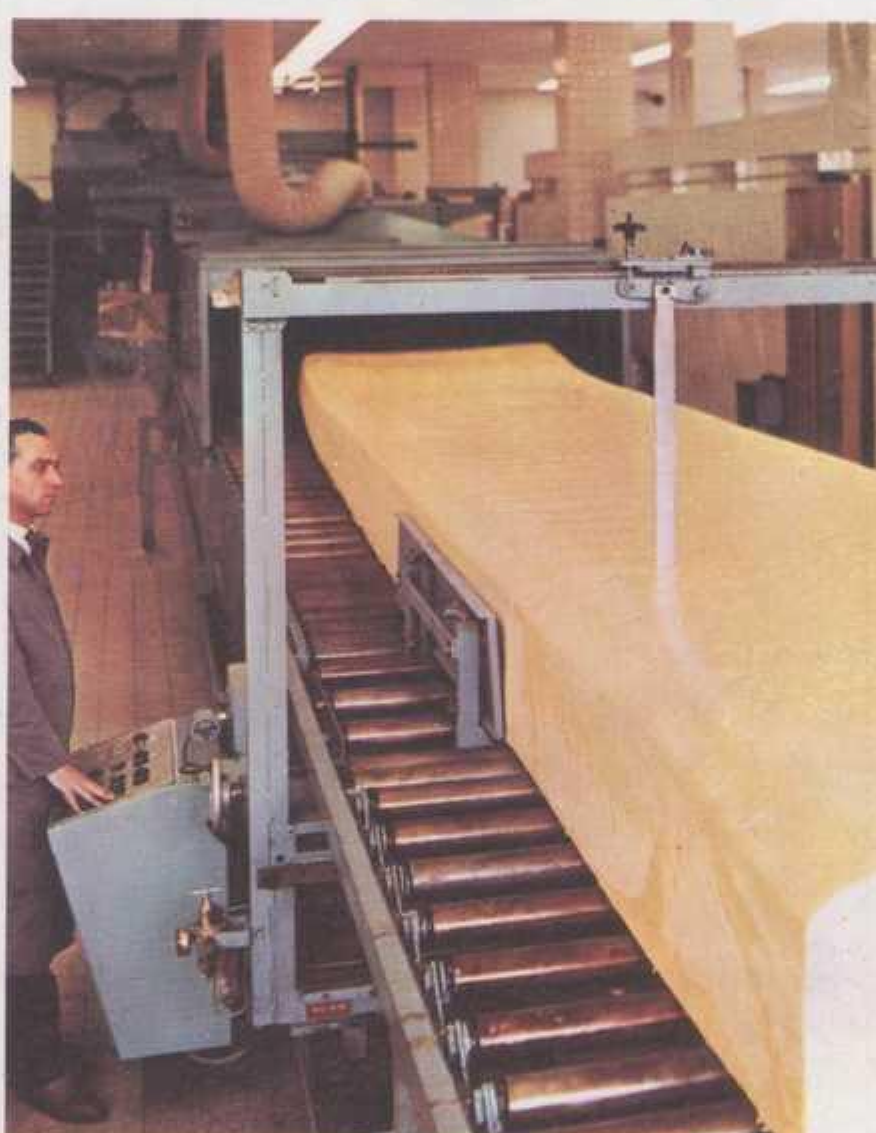
Una configuración más compleja es la de la cadena ramificada, en la cual las moléculas de tipo diverso se acoplan sobre la cadena principal del polímero formando un copolímero. Esta cadena se puede representar como sigue:

En las dos configuraciones anteriormente representadas, la *lineal* y la *ramificada*, los enlaces entre las diversas cadenas no son excesivamente fuertes. Tales polímeros, si se calientan, pasan de nuevo al estado líquido.

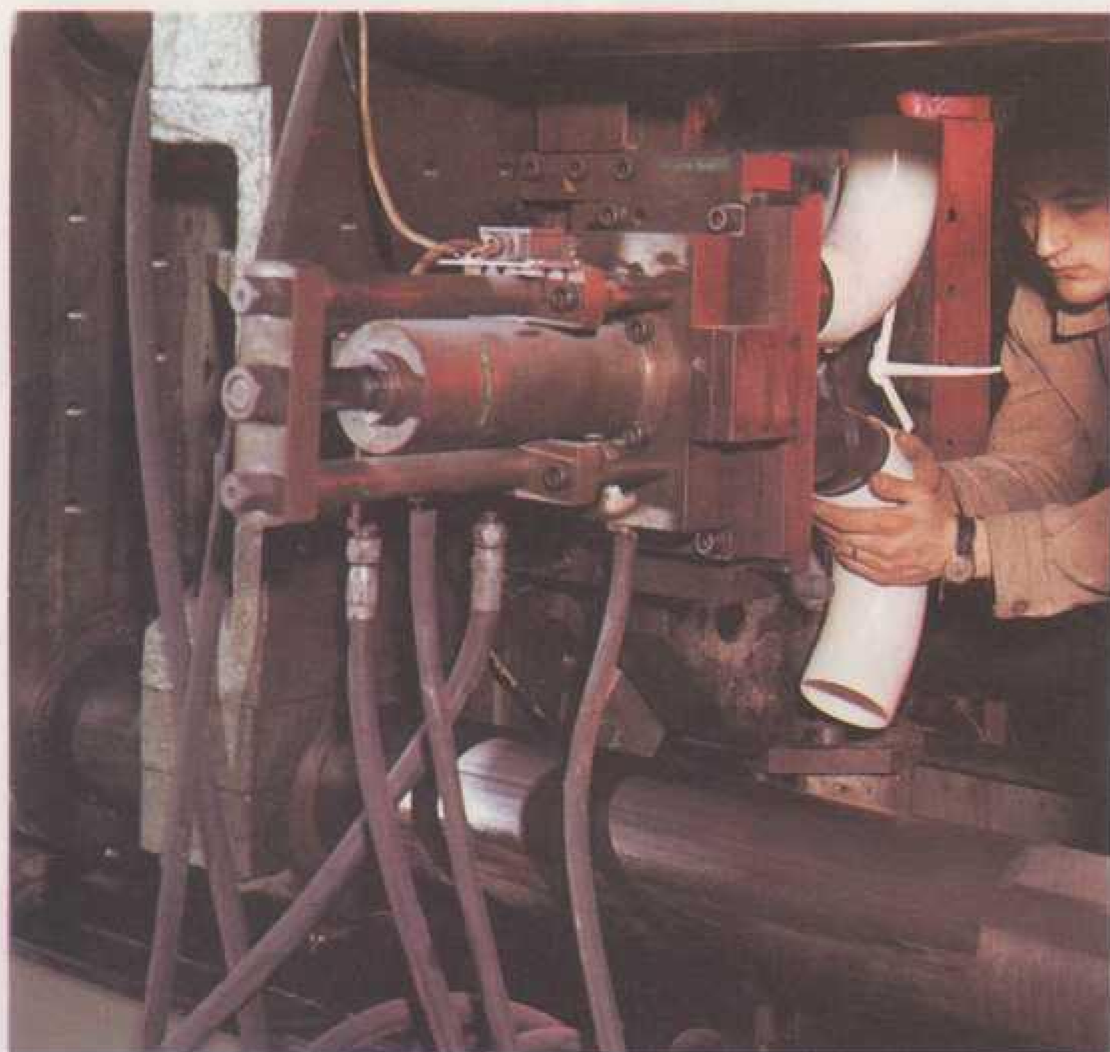
Existe un tercer tipo de configuración, llamada *reticular*, en la cual las cadenas forman un retículo tridimensional uniéndose entre ellas en varios puntos. Los enlaces transversales entre las cadenas confieren una notable resistencia al polímero y evitan el deslizamiento entre las cadenas que lo forman. Las sustancias que contienen tales retículos tridimensionales —como la goma vulcanizada— son prácticamente indestructibles. Las cadenas reticulares pueden ser representadas como sigue:

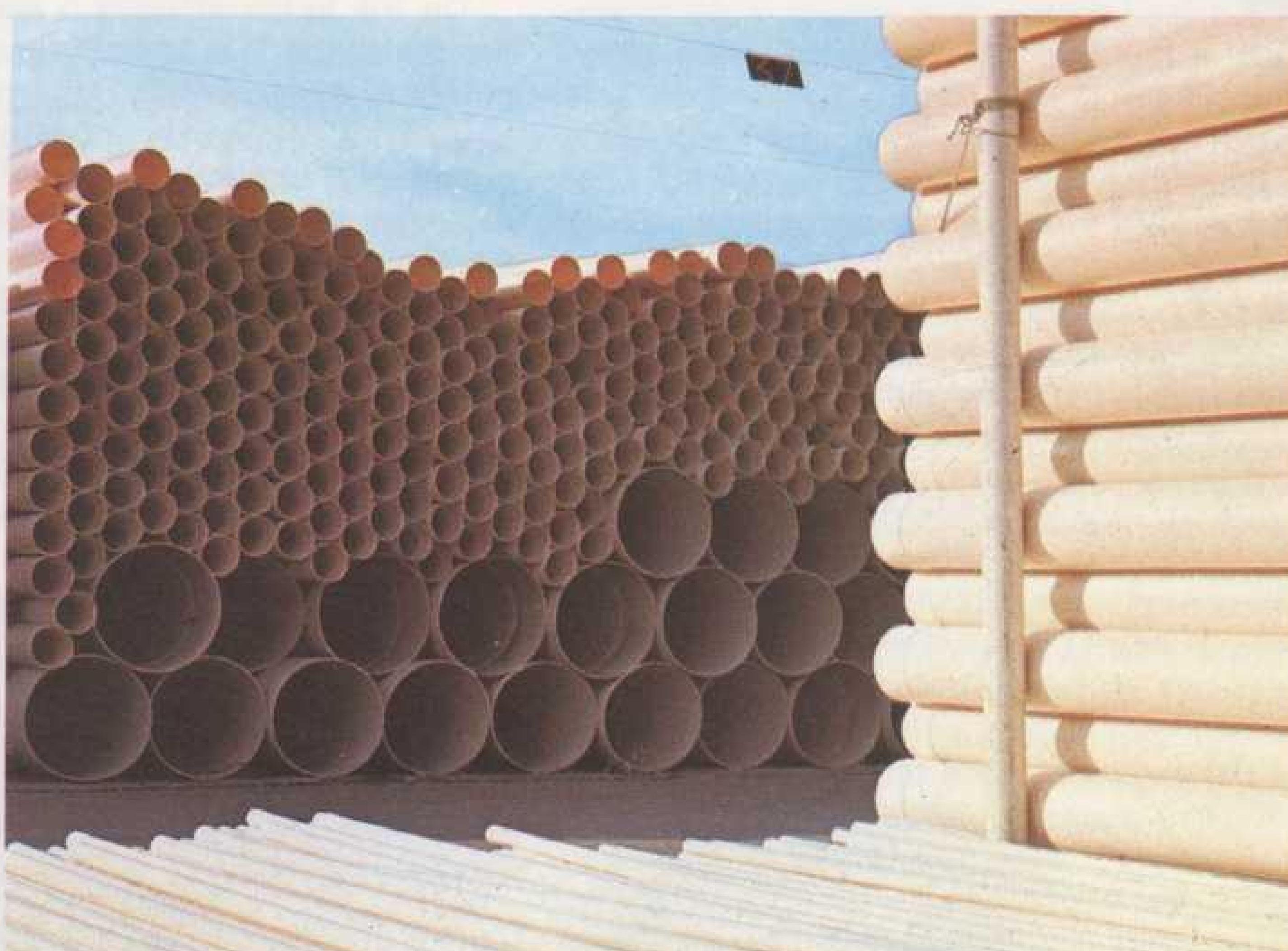






En las dos imágenes de abajo, ciclos de elaboración de dos diferentes polímeros. A la izquierda, fabricación de cestos de polipropileno. El polímero es empujado hacia una máquina de estrusión de la cual sale a través de una matriz. El polipropileno es usado, dada su gran versatilidad, en numerosas aplicaciones prácticas. Abajo, a la derecha, fabricación de un producto en poliuretano expandido. Este polímero tiene una notable importancia comercial y encuentra un amplio campo de aplicación en la industria automovilística y de decoración como acolchamiento y como aislante eléctrico. Tales características derivan también de la particular estructura porosa (semejante a una esponja) que tiene el polímero.





Las variedades de los polímeros obtenibles Las materias plásticas sintéticas que se usan diariamente presentan una gran variedad de dimensiones, entramados, formas, densidades y durezas. Esta diversidad es posible, en gran parte, gracias a la posibilidad de intervenir en la fase de polimerización, variando la composición de los monómeros, adicionando monómeros con características específicas o variando la temperatura de reacción. En este último caso, resulta notorio el hecho de que un mismo monómero polimerizado a temperaturas elevadas lleva generalmente a la formación de un polímero de masa molecular más baja, con una buena rigidez, mientras que si es polimerizado a temperaturas más bajas, conduce a la formación de un polímero con masa molecular más elevada y, en general, con mejores características de flexibilidad. El cloruro de polivinilo, por ejemplo, puede ser empleado para fabricar discos, o bien para fabricar cortinas de ducha en función de las diversas temperaturas en las que se ha realizado la polimerización. También la velocidad de enfriamiento influye sobre las características del polímero. Un enfriamiento demasiado rápido puede determinar en muchos polímeros un comportamiento vidrioso, caracterizado por un aumento de la transparencia y de la fragilidad del producto.

Por su resistencia, versatilidad y duración, los polímeros han alcanzado una importancia fundamental en muy diversos sectores de la tecnología industrial actual y se han incorporado a los más variados procesos productivos.

Véase **Cloruro de polivinilo; Elastómeros; Etileno y polietileno; Plásticos; Petroquímica; Polímeros fluorados**





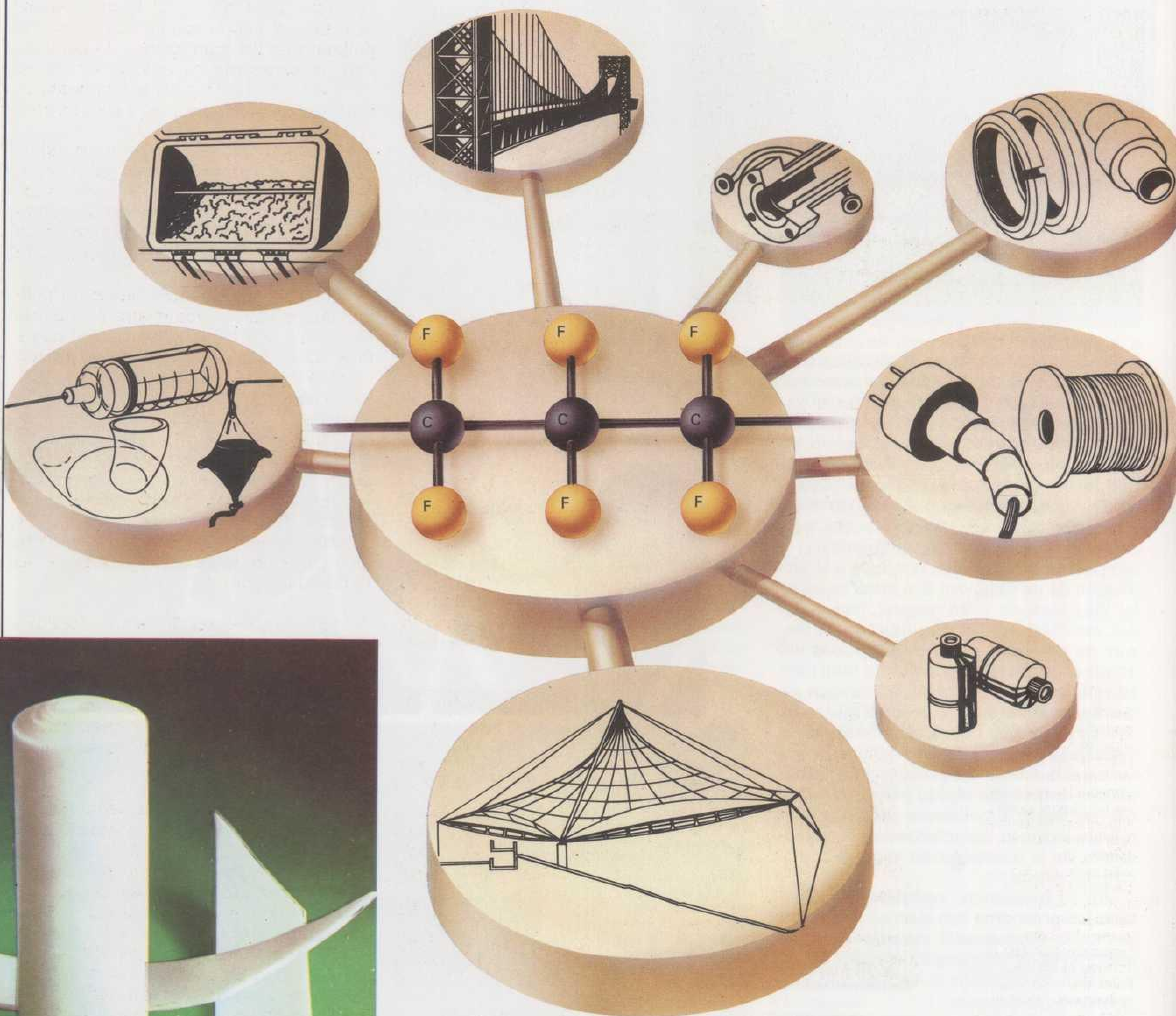
En esta página, algunos productos fabricados con policloruro de vinilo. Este polímero termoplástico es una de las materias plásticas más difundidas gracias a su gran versatilidad y al bajo coste de las materias primas empleadas en su producción. De arriba a abajo: empalmes producidos por medio de una prensa; tubos de varios diámetros de empleo común en la construcción, en la industria química, etc.; vista parcial de un almacén para rollos de películas de cloruro de polivinilo empleadas para la fabricación de cintas adhesivas y colorantes; y diversos productos de un polímero polivinílico.

Polímeros fluorados

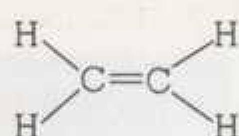
En las labores domésticas y de hostelería, y, en general, para todas aquellas personas que tienen que dedicar una parte de su tiempo a preparar comidas y a fregar las sartenes y las cacerolas utilizadas, 1961 fue un año propicio, ya que fue entonces cuando se introdujo un nuevo tipo de cacerola, cuyo revestimiento impedía que los alimentos se pegasen. El primer revestimiento de este tipo estaba constituido por un polímero fluorado, el politetrafluoretileno, más conocido por la denominación comercial de *teflón*.

De los hidrocarburos a los hidrocarburos fluorados Los polímeros son moléculas de dimensiones muy grandes (si se comparan con la mayor parte de las moléculas), con una estructura constituida por cadenas largas unidas entre sí. Estas cadenas no son solamente muy resistentes al agua y al ataque de los agentes químicos, sino que además pueden pasar de un estado líquido viscoso a un estado rígido o elástico. Tal propiedad permite que se pueda trabajar fácilmente con estas moléculas, en una gran variedad de formas y dimensiones. Algunos polímeros pueden encontrarse en estado natural —por ejemplo la savia del árbol de la goma—, pero generalmente son preparados sintéticamente y empleados para la fabricación de materiales plásticos, fibras y revestimientos protectores.

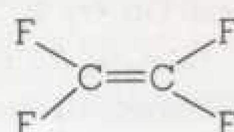
La mayor parte de los polímeros sintéticos deriva de los hidrocarburos, compuestos éstos muy abundantes en el petróleo. Un hidrocarburo simple, el etileno (C_2H_4), es representado por la fórmula espacial siguiente:



Arriba se halla representado esquemáticamente el polímero tetrafluoretileno (teflón) y algunos de sus campos de aplicación: proyectos de ingeniería civil, revestimientos internos para tubos y tuberías flexibles, cojinetes y anillos de guarnición y sellado para dispositivos mecánicos, aislamiento de cables y conductores eléctricos, frascos y contenedores, estructuras arquitectónicas, en medicina y revestimientos antiadherentes, tanto domésticos como industriales. A la izquierda se muestra el aspecto del teflón, un material con alto punto de fusión, resistente al ataque químico y al desgaste mecánico.



La fluorización consiste en la sustitución de los átomos de hidrógeno de los hidrocarburos por átomos de flúor, que en el caso del etileno da lugar a la formación de un compuesto denominado tetrafluoretileno (C_2F_4). Los átomos de carbono en el tetrafluoretileno están unidos entre sí mediante un enlace doble.



A partir de dichas moléculas se puede obtener un polímero, liberando el doble enlace y haciendo reaccionar a las moléculas de tetrafluoretileno entre sí. El polímero resultante (politetrafluoretileno o PTFE) determina las propiedades de los revestimientos de las baterías de cocina. La fórmula se puede representar como:



Ni se pegan, ni se queman El flúor es uno de los elementos químicos más reactivo. Sin embargo, cuando se une a los átomos de carbono, el compuesto resultante es muy inerte (no reactivo y prácticamente inatacable por el agua y por la mayor parte de los productos químicos). La presencia del flúor determina, por otra parte, el elevado punto de fusión de los polímeros fluorados (323 °C), característica ésta muy importante en el empleo del polímero en las operaciones de cocción. Pero la característica que determina el gran valor atribuido a estos polímeros es la elevada resistencia que presentan para adherirse a otras sustancias.

Por otra parte, mientras que los hidrocarburos contienen enlaces hidrógeno-carbono, que producen fenómenos de adherencia con otras sustancias, los compuestos fluorados y, por tanto, también los polímeros fluorados, no dan lugar a estos fenómenos.

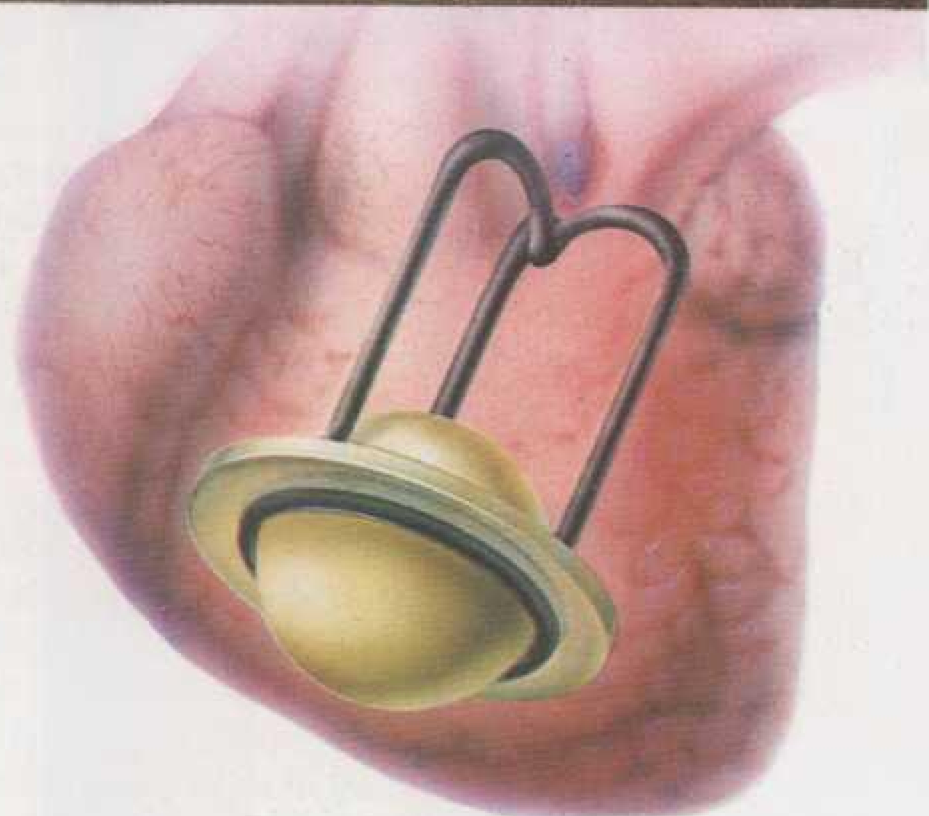
Por todas estas características, el politetrafluoretileno, cuyos cuatro átomos de hidrógeno son sustituidos por átomos de flúor, constituye el polímero fluorado más empleado.

Además de utilizarse en los revestimientos de recipientes, evitando así que los alimentos se peguen o se quemen, el PTFE se utiliza en la industria para la producción de cojinetes, adornos, tubos y aislamientos eléctricos. Por su elevada resistencia al agua, también se emplea en fontanería: cintas de PTFE se utilizan como envolturas de las cañerías para evitar las fugas en las uniones.

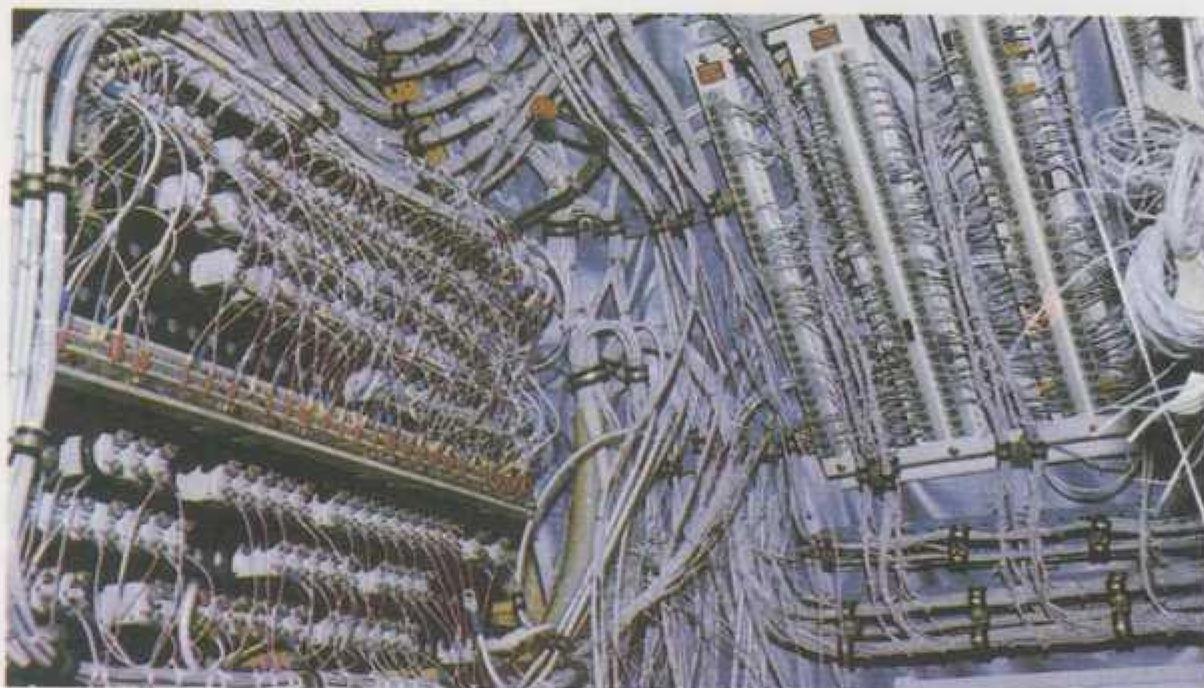
Tipos de polímeros fluorados El PTFE es de difícil elaboración a causa de su elevado punto de fusión. Sustituyendo un átomo de flúor por un átomo de cloro se obtiene un polímero denominado trifluorcloroetileno (constituido por numerosas cadenas de moléculas de etileno en las que los cuatro átomos de hidrógeno han sido sustituidos por tres átomos de flúor y uno de cloro). La introducción del átomo de cloro en la molécula tiene como efecto la disminución del punto de fusión del polímero a 149 °C, haciendo, por tanto, más fácil su elaboración para la estampación, y no alterando sus características más notables, como son la resistencia química y la baja adhesividad propias de los polímeros fluorados. En cuanto a los campos de aplicación a baja temperatura, se obtienen de la combinación de gomas fluoradas con otro tipo de polímeros, así como de los copolímeros, los cuales mantienen su elevada característica de elasticidad incluso a temperaturas particularmente bajas (–185 °C). Tales productos son empleados con grandes ventajas incluso en las exploraciones polares.

Véase **Plásticos; Polímeros**











Sobre estas líneas podemos observar algunas aplicaciones prácticas de los polímeros fluorados: conectador eléctrico en tefzel para celdas frigoríficas resistentes a la humedad; válvula mitral para cardiocirugía con partes en polímero fluorado; dos aplicaciones del teflón como elemento arquitectónico (en la imagen el Pontiac Silverdome con cubierta en teflón y fibra de vidrio); empleo de tefzel (de gran fiabilidad y de bajo peso) para el aislamiento del cableado de los aeroplanos de patrullas marítimas Orión P3C; por último, aplicación del teflón como revestimiento antiadherente de sartenes y cacerolas.

Pólvora

Hace más de mil años los chinos descubrieron que mezclando azufre, salitre y carbón vegetal en polvo se conseguía una sustancia que, a cierta temperatura, no sólo ardía rápidamente sino que, además, colocada en un recipiente cerrado, hacía explosión. Parece ser que, en un principio, la pólvora se utilizó exclusivamente para la fabricación de fuegos de artificio, es decir, que no fue concebida con fines bélicos o destructivos. Sin embargo, se sabe que hacia principios del siglo XIII ya se empleaba como carga propulsante para cañones y otros tipos de armas de fuego. Más tarde se encontraron usos más pacíficos, como la producción de explosivos para la extracción minera y para la construcción.

La pólvora fue introducida en Occidente, como arma de guerra, por los árabes, quienes ya hacia finales del siglo XIII habían inventado el primer cañón que funcionaba con pólvora negra y que lanzaba flechas a través de un tubo de hierro y bambú.

Roger Bacon, científico inglés gran conocedor de las fuentes árabes, describió por primera vez la preparación de la pólvora negra en 1248.

Algunos historiadores adjudican a Bacon la invención de la pólvora y otros, en cambio, la atribuyen a Berthold Schwarz, monje alemán del siglo XIV; la mayor parte de los investigadores, sin embargo, coincide en afirmar que la pólvora tuvo su origen en China en el siglo X.

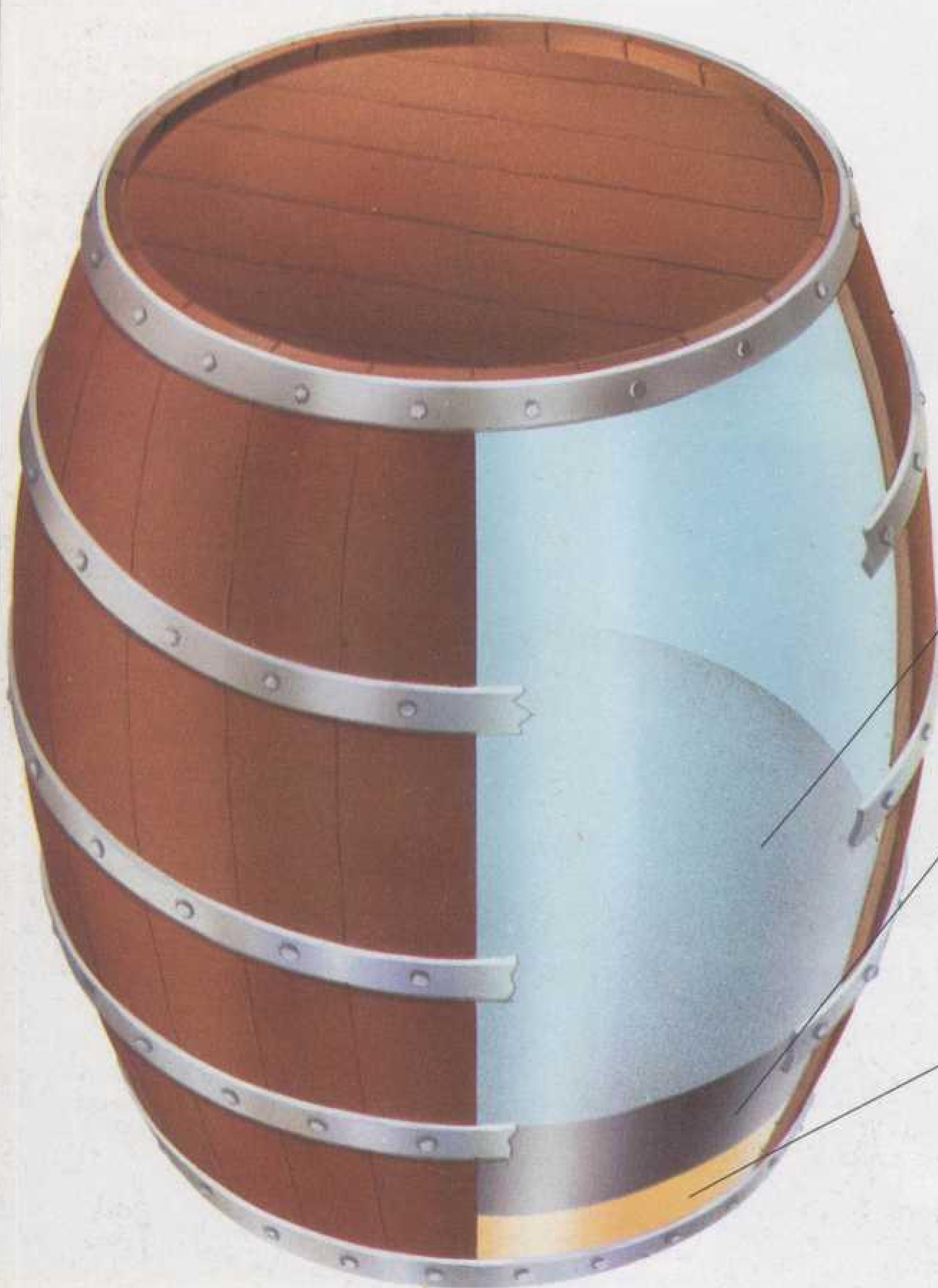
Fabricación de la pólvora Durante muchos siglos la pólvora se fabricó y trituró a mano. La fórmula más corriente mezclaba un 50% de salitre (nitrato potásico), un 25% de azufre y un 25% de carbón vegetal suave (carbono).

Las técnicas de elaboración progresaron rápidamente, sustituyendo la técnica del mortero por la de la maza de madera, en la que era la madera la que trituraba la pólvora. Desde mediados del siglo XV este último método se mecanizó mediante el empleo de molinos de agua que movían las mazas de madera, y obtenían los bloques de pólvora comprimida. En el siglo XIX el metal sustituyó a la madera y las ruedas sustituyeron a las mazas en la fabricación de la pólvora.

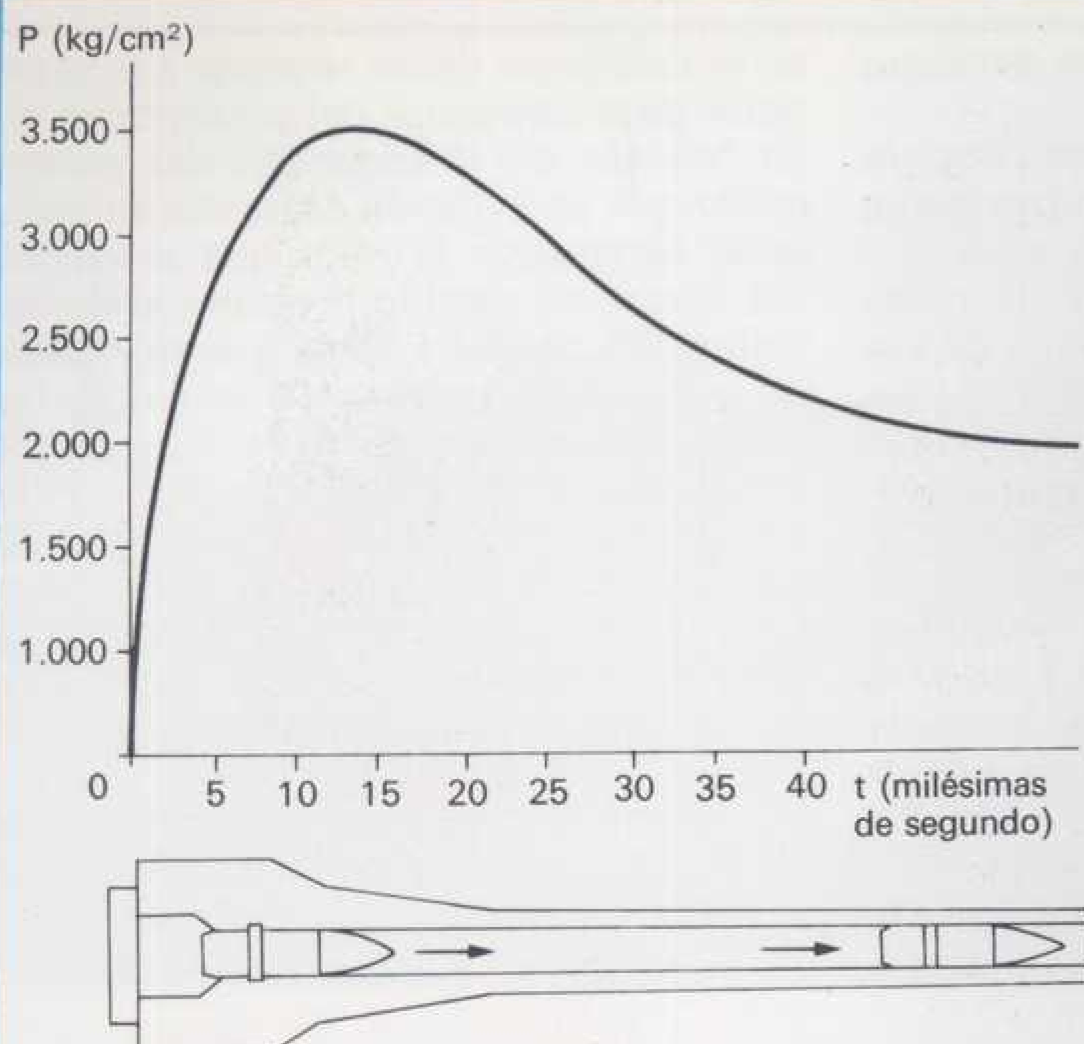
En el siglo XVII, una fórmula de pólvora más volátil (75% de salitre, 10% de azufre y 15% de carbón) se difundió ampliamente en los campos de batalla, utilizándose también en las operaciones de extracción de mineral en Europa y en la construcción de carreteras.







En el barril, a la izquierda de estas líneas, se muestra la proporción más común en que se mezclan los ingredientes de la pólvora pírica: 75% de nitrato de potasio (la sustancia que proporciona el oxígeno), 15% de polvo de carbón suave (el mejor es el de cáscaras de nuez) y 10% de azufre en flor (polvo fino). Por acción del calor de una llama, o de una simple chispa, como resultado de la presión de un choque violento, el nitrato se descompone y libera oxígeno. En presencia del oxígeno se produce la rápida combustión del azufre y del carbono, que a su vez liberan el calor que hace progresar la reacción en cadena. Arriba, dos proyectiles de artillería, en los que la pólvora negra se ha sustituido por explosivos más potentes. La pólvora negra todavía se emplea en los cartuchos de caza (arriba, a la derecha), aunque hoy se tiende a sustituirla por balistita. Además, en las escopetas de caza, el proyectil se sustituye por perdigones de plomo. En la página siguiente los cañones de bronce, de avancarga, que se utilizaron en las batallas navales durante tres siglos. La recarga era muy peligrosa por los residuos incandescentes.



Las características de un combustible propulsor deben ser múltiples: elevada energía por unidad de masa, no corrosión del ánima del arma en la que se utiliza, ausencia de llama y de humo en la boca. Pero su característica más importante es el diagrama de presión en el cañón del arma. A nuestra izquierda se puede observar el diagrama correspondiente a la pólvora pírica en un cañón de avancarga. La máxima presión a mitad del cañón es peligrosa; las pólvoras modernas producen una presión más uniforme.

La pólvora explosiva A y la pólvora explosiva B El salitre o nitrato de potasio, ingrediente principal de la pólvora, se obtuvo primitivamente a partir de sus compuestos y de los excrementos animales, aunque la mayor parte se importaba de la India. Otro método para obtener el salitre, aunque menos eficaz y directo, consistía en combinar el nitrato de sodio, muy abundante en Chile, con el cloruro de potasio.

En América, en el siglo XIX, el industrial Lammot du Pont experimentó con el nitrato de sodio, introduciendo una variación en la fórmula estándar de la pólvora negra. Registró la pólvora explosiva B, una mezcla de 72% de nitrato de sodio (en lugar del nitrato de potasio), 12% de azufre y 16% de carbón. De esta manera, el nitrato de sodio de Chile y de Perú, abundante y fácil de extraer, comenzó a utilizarse directamente para la fabricación de la pólvora. La pólvora de du Pont era más barata, pero de inferior calidad con respecto a la pólvora original que contenía nitrato de potasio, a la que se denominó pólvora explosiva A.

Las cualidades de la pólvora explosiva B la hacían más idónea para su empleo en las minas y en la construcción. La pólvora explosiva A continuó usándose como propulsor en las armas de guerra, especialmente en los cañones.

Decadencia de la pólvora La pólvora parecía ideal para trocear las masas de carbón en su extracción del subsuelo. La explosión era amplia y poco violenta. Pero el encendido de la pólvora en presencia de gas y polvo de carbón provocaba explosiones espontáneas y peligrosas. La dinamita, inventada en el siglo XIX, se impuso como medio más seguro y menos costoso que la pólvora para la industria extractiva. Hoy la pólvora negra todavía se emplea para la fabricación de fuegos artificiales y cohetes de señales.

Véase **Azufre; Fuegos artificiales; Potasio; Sodio**

Portaviones

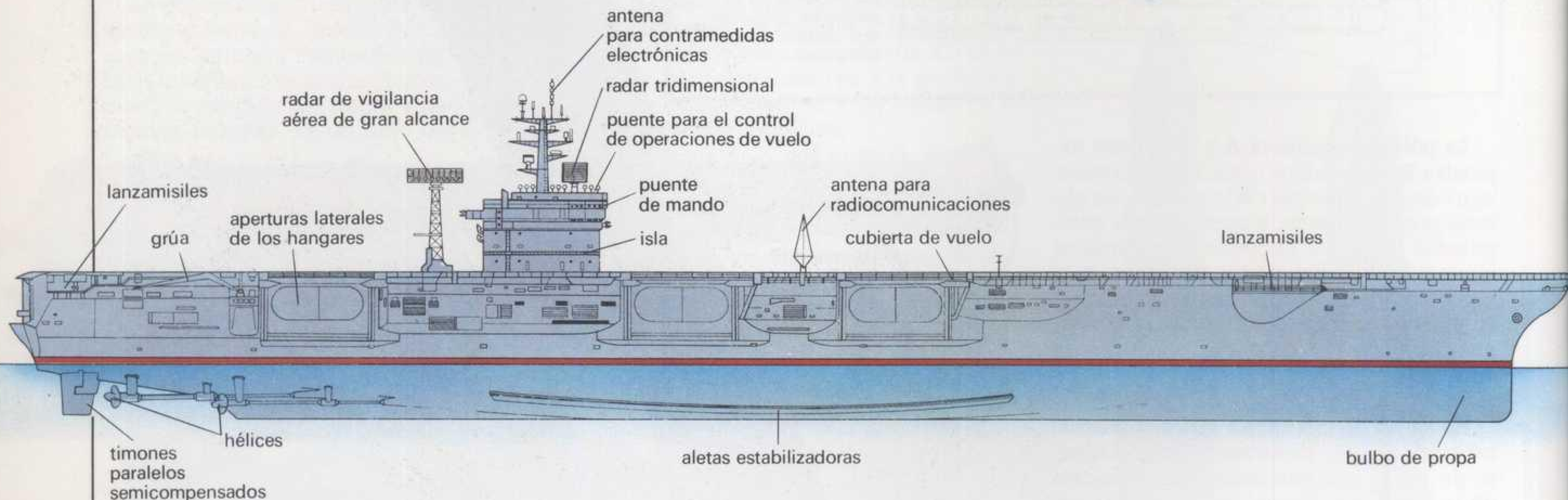
En 1910, apenas transcurridos siete años desde que los hermanos Wright sobrevolaran por primera vez las playas de Carolina del Norte, el piloto militar estadounidense E. Ely despegó con su avión desde una plataforma de vuelo construida sobre la proa del crucero Birmingham.

En 1918 se dispuso del primer portaviones, resultado de la transformación de un barco mercante británico. Entró en servicio con el nombre de *Argus* y disponía de una cubierta de vuelo sin ninguna clase de obstáculo, con una longitud de unos 170 metros y una anchura de 20 metros. Durante la I Guerra Mundial, los hidroaviones se encargaron de llevar a cabo importantes misiones de ayuda en colaboración con la marina, entre ellas el reconocimiento aéreo a largas distancias y la corrección de las trayectorias de tiro.

para que los aviones reposten, servicios contra incendios, etcétera.

Los portaviones construidos después de la II Guerra Mundial se proyectaron para que pudieran operar con aviones a reacción. La Armada británica desplazó, además, la posición de la cubierta de sus portaviones para evitar colisiones durante los despegues y los anaveajes, y construyó catapultas con impulsión a vapor para lanzar los aviones. Los portaviones del tipo *Forrestal*, construidos entre 1952 y 1959, tenían una cubierta de vuelo desviada 8 grados a la izquierda y estaban dotados de grandes plataformas laterales, de casi dos veces la anchura de la nave, que sobresalían de sus flancos. Cuatro catapultas a vapor lanzaban los aviones a intervalos de 30 segundos, y gran parte de la maquinaria operativa del buque estaba automatizada.

en el *Enterprise* desea regresar a la nave, debe girar alrededor del portaviones en un "círculo de dislocación", del mismo modo que un avión de pasajeros en cualquier aeropuerto. El avión gira alrededor del buque en sentido contrario al de las manecillas del reloj, hasta que se le indica que puede anavear. La maniobra de anaveaje se dirige desde la "isla" con la ayuda de los monitores de control, dotados de radar para medir la velocidad de los aviones. Para anavear, el piloto hace bajar un gancho, situado en la cola del avión, que debe engancharse a los cables de detención. Estos cables, de acero y muy tensados, están colocados a través de la cubierta de vuelo del portaviones, de modo que el avión, que en este intervalo ha reducido al mínimo la potencia de los motores, se detiene por completo en una treintena de metros. Los portaviones propulsados por energía atómica, como el *Enterprise*, difieren notablemente de los precedentes, que debían disponer de chimeneas y de tomas de aire, para las calderas de fuel-oil, sobre la cubierta de vuelo, etc. En el *Enterprise* se han eliminado todas las conducciones de descarga y aspiración en las áreas próximas a la torre de control. La isla del *Enterprise*, una cúpula esférica de base cuadrada flanqueada por antenas radar, es una estructura altamente aerodinámica.



Desarrollo de los portaviones En 1922 el *Júpiter*, un barco carbonero de la Armada americana, fue transformado en portaviones y rebautizado con el nombre de *Langley*. La sobreestructura fue desmontada y se instaló en su lugar una plataforma de madera para el despegue. Los aviones eran elevados desde las bodegas de la nave por medio de grúas. El mismo año, los japoneses construyeron su primer portaviones, el *Hosho*. Sin embargo, estos primeros portaviones presentaban muchos inconvenientes (poca longitud de la plataforma, humos de las chimeneas, etc.), por lo que se estudiaron nuevas soluciones que desembocaron en el prototipo de portaviones actual: plataforma de proa a popa y situación del conjunto puente-chimenea, denominado *isla*, en un costado del buque. Los modernos portaviones están equipados con un sistema defensivo similar al de un buque de guerra, y tienen capacidad para transportar un elevado número de aviones, ya que cuentan con un hangar para alojarlos y efectuar las labores de mantenimiento y reparación, elevadores para bajar los aviones a la cubierta de hangar o para subirlos desde ésta hasta la de vuelo, elementos del control de los aviones, así como instalaciones

Portaviones de energía nuclear Una posterior mejora en la construcción de portaviones fue la aparición de los buques con propulsión atómica en 1960. El *Enterprise* de la Armada americana, el primer portaviones atómico, tiene ocho reactores nucleares que permiten al buque navegar durante más de 400.000 millas a una velocidad de 20 nudos, sin repostar. La *cubierta de vuelo*, de 315 m de longitud y 76 m de achura, está colocada a 37 m sobre la superficie del mar. La *cubierta de hangar*, donde se alojan los aviones, se comunica con la cubierta de vuelo por medio de cuatro grandes ascensores situados en los bordes de la cubierta. Para el despegue se lleva el avión al final de una de las catapultas que lo mantiene sujeto por una brida de lanzamiento. Mientras se aceleran los motores a reacción, los gases sobrecalentados que expulsan chocan con los deflectores de azufre refrigerados por agua que se levantan de la cubierta detrás de las catapultas. El impulso comunicado por la plataforma de lanzamiento, unida a la enorme aceleración de los motores, permite que el avión alcance, en pocos segundos, una velocidad de 260 km por hora.

Cuando uno de los 95 aviones con base

En la época de su construcción, los portaviones del tipo *Enterprise* eran los mayores buques de guerra que jamás se habían construido: con 336 m de eslora, eran capaces de transportar 3.100 oficiales y marineros, más de 2.400 hombres pertenecientes al servicio de vuelo, así como 90 aviones y helicópteros.

Los portaviones más modernos El primer portaviones norteamericano de energía nuclear del tipo *Nimitz* fue botado en 1972. El *Nimitz* está dotado de dos reactores nucleares, comparables a los ocho del *Enterprise*, que le permiten navegar durante 13 años sin repostar (estos motores nucleares perfeccionados generan energía equivalente a 11 millones de barriles de fuel-oil).



lanzamisiles
cables de detención de cubierta
grúa
ascensor del hangar
barrera abatible de detención para aviones accidentados
radar de control para aproximación y anaveaje
isla
torre del complejo del radar
lanzamisiles
ascensor del hangar
ascensor del hangar
ascensor del hangar
cables de detención del anaveaje
visor óptico de anaveaje
defensa abatible
lanzamisiles
carrera límite de la cubierta de vuelo
catapulta a vapor
pista desviada de anaveaje con señalización
carrera límite de la cubierta de vuelo
cúpula pequeña de observación para control de las operaciones de lanzamiento
catapulta a vapor

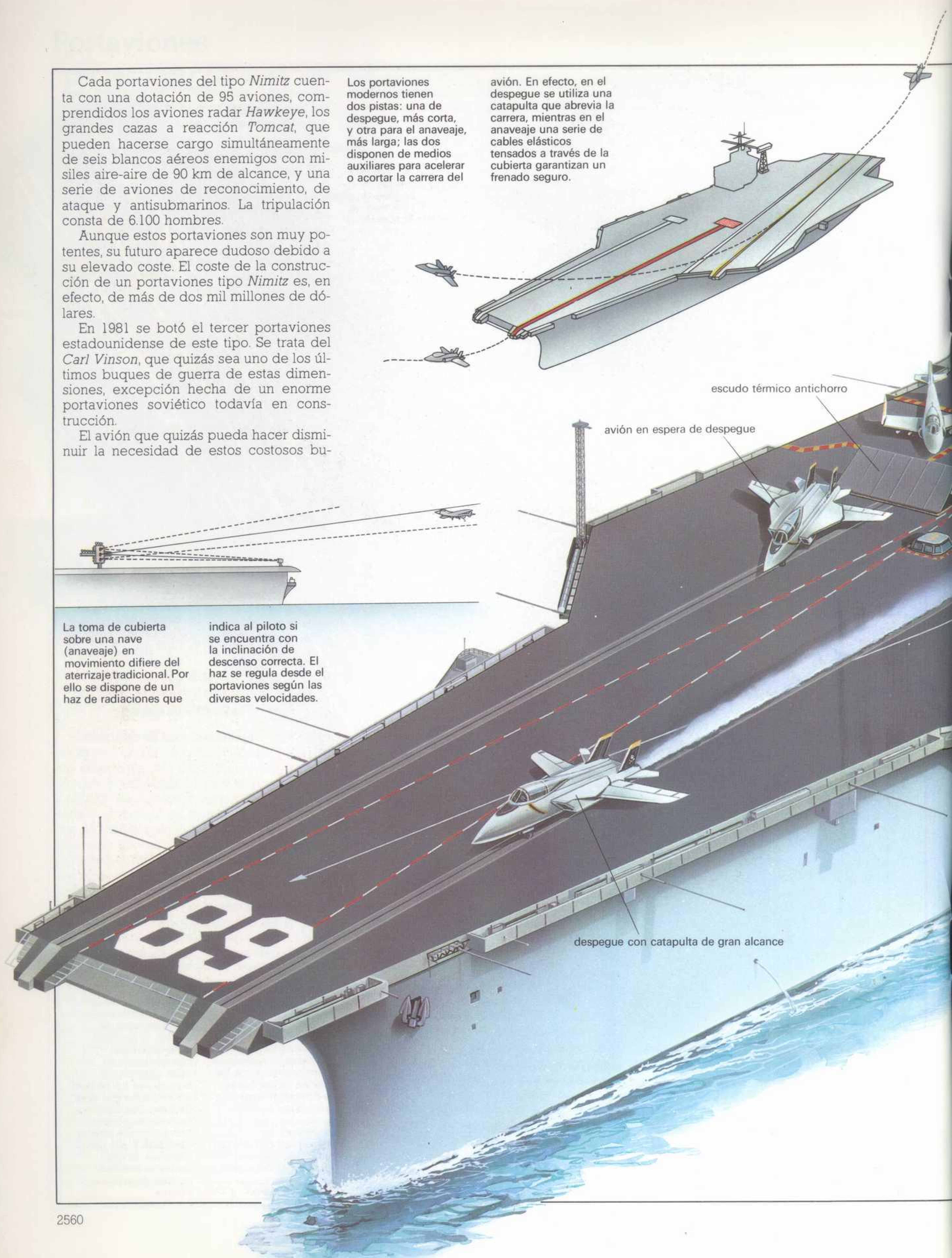
Los portaviones son grandes buques de guerra dotados de todas las instalaciones necesarias para el transporte, lanzamiento y recogida de aviones de combate. Van provistos, además, de talleres de reparación y mantenimiento de los aviones, de depósitos de combustible, de pañoles de municiones, etc.
En general, los portaviones constituyen auténticas ciudades flotantes. El *Enterprise*, por ejemplo, cuenta con una dotación de unos 5.000 hombres y más de 200 aviones embarcados. Aunque generalmente llevan alguna batería para el lanzamiento de misiles, la principal arma defensiva con que cuentan estos gigantescos buques son los propios aviones a los que sirve de base. Los modernos portaviones poseen una estructura externa compacta y con pocas aberturas, lo que facilita su defensa en caso de ataque exterior.

Cada portaviones del tipo *Nimitz* cuenta con una dotación de 95 aviones, comprendidos los aviones radar *Hawkeye*, los grandes cazas a reacción *Tomcat*, que pueden hacerse cargo simultáneamente de seis blancos aéreos enemigos con misiles aire-aire de 90 km de alcance, y una serie de aviones de reconocimiento, de ataque y antisubmarinos. La tripulación consta de 6.100 hombres.

Aunque estos portaviones son muy potentes, su futuro aparece dudoso debido a su elevado coste. El coste de la construcción de un portaviones tipo *Nimitz* es, en efecto, de más de dos mil millones de dólares.

En 1981 se botó el tercer portaviones estadounidense de este tipo. Se trata del *Carl Vinson*, que quizás sea uno de los últimos buques de guerra de estas dimensiones, excepción hecha de un enorme portaviones soviético todavía en construcción.

El avión que quizás pueda hacer disminuir la necesidad de estos costosos bu-



Los portaviones modernos tienen dos pistas: una de despegue, más corta, y otra para el anaveaje, más larga; las dos disponen de medios auxiliares para acelerar o acortar la carrera del avión. En efecto, en el despegue se utiliza una catapulta que abrevia la carrera, mientras en el anaveaje una serie de cables elásticos tensados a través de la cubierta garantizan un frenado seguro.

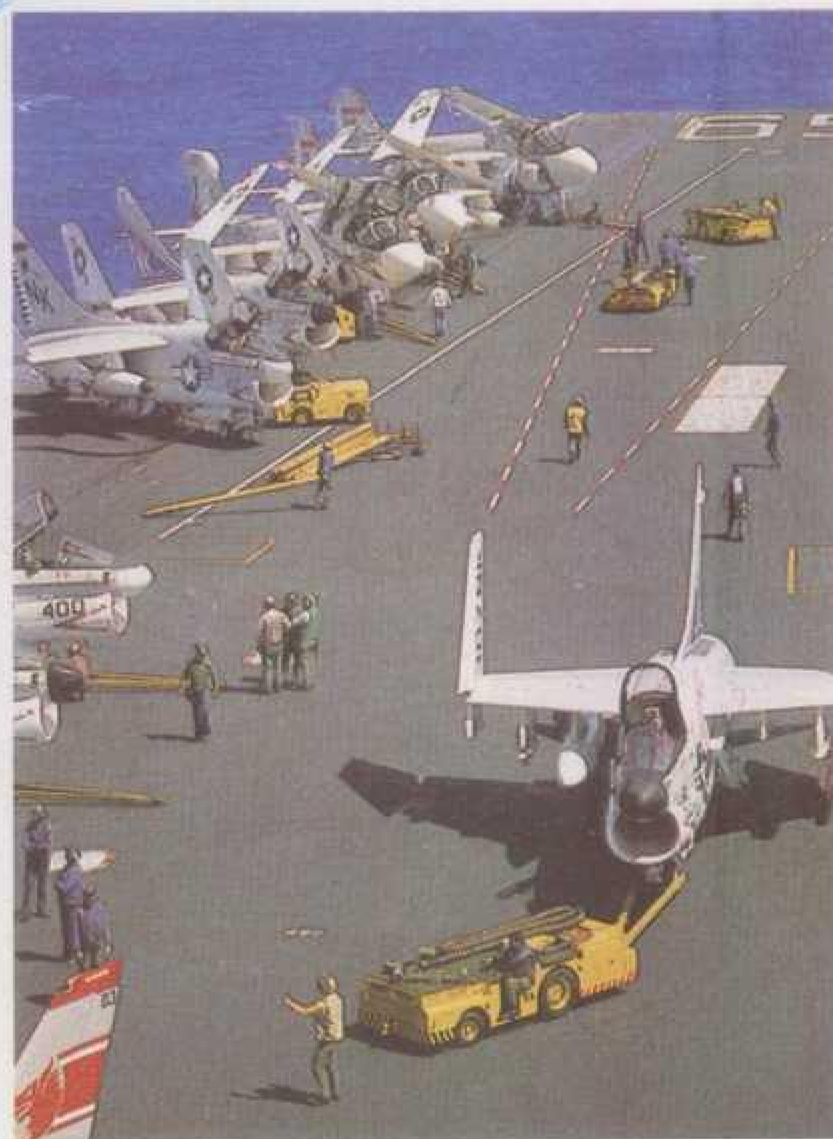
La toma de cubierta sobre una nave (anaveaje) en movimiento difiere del aterrizaje tradicional. Por ello se dispone de un haz de radiaciones que indica al piloto si se encuentra con la inclinación de descenso correcta. El haz se regula desde el portaviones según las diversas velocidades.

radar de vigilancia de gran alcance

pista de anaveaje

ascensor subiendo del hangar

isla



Arriba se representan algunas de las operaciones que tienen lugar en la cubierta de un portaviones. Aunque estas operaciones son quizá las más espectaculares, no dan, en absoluto, idea de la extrema complejidad de cuanto sucede bajo cubierta. Las actividades sobre cubierta son en cierta medida semejantes a las que se desarrollan en torno al aeropuerto de una base aérea. A la derecha, cubierta del *Enterprise*, un portaviones propulsado por una turbina de vapor movida por ocho reactores atómicos. Sólo el mantenimiento de la tripulación exige que cada día se distribuyan unas doce mil comidas.

ques es el caza-bombardero *Sea Harrier*. Este avión pesa un tercio del *Tomcat* y puede despegar y anavear verticalmente, utilizando una pista mucho más pequeña de la actualmente empleada por cualquier avión y sin necesidad de los tradicionales cables de detención para el anaveaje. Sin embargo, la experiencia de la guerra de las Malvinas en 1982 ha demostrado que los aviones de despegue vertical en corto no han alcanzado todavía unos niveles de vuelo que les permitan sustituir plenamente y en todas sus misiones a los actuales aviones embarcados en los grandes portaviones. A pesar de las enormes dimensiones y el elevado peso (las naves del tipo *Nimitz* pesan más de 90.000 toneladas a plena carga), los modernos portaviones se encuentran entre los más veloces buques de guerra de superficie, capaces de alcanzar una velocidad de 33 nudos. Como los portaviones llevan a bordo pocas armas defensivas, operan generalmente formando parte de flotas, que comprenden cruceros, cazatorpederos y fragatas, todos ellos dotados de misiles de mar y aire y de armas antisubmarinas.

Véase **Buque de guerra**

Potasio

NOMBRE	POTASIO
SIMBOLO	K
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del alemán *kali* (nombre de la potasa)
N. ATOMICO	19
P. ATOMICO	39,102
ESTADO NATURAL	en los minerales ortoclasa, leucita, mica, silvina, carnalita, cainita; en los animales, vegetales y en el agua del mar
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. Davy (1807)
PRODUCCIÓN	del cloruro de potasio fundido
P. f. (°C)	63,7
P. eb. (°C)	760
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	0,86
COLOR	blanco-plata
ESTADOS DE OXIDACION	K^+
ELECTRONEGATIVIDAD (según L. Pauling)	0,8
PROPIEDADES Y APLICACIONES	metal blando extraordinariamente reactivo; sus sales son usadas como fertilizantes y para vidrios difícilmente fundibles (carbonato)

El potasio constituye el 2,4% de la corteza terrestre, donde se encuentra en forma de sales solubles, como el cloruro de potasio o silvina, cuyo aspecto es similar al de la sal gema (como se puede ver arriba) y el carbonato potásico, y de minerales insolubles, como el feldespato y la mica (a la derecha, ortoclasa en la cual son visibles los cristales de cuarzo).

Si se deja caer en el agua una pequeña cantidad de potasio, éste reacciona inmediatamente y de forma llamativa, desplazándose sobre la superficie con un movimiento caprichoso en zig-zag y produciendo una pequeña llama violácea. Menos denso que el agua, el potasio reacciona con ésta liberando hidrógeno gaseoso y desarrollando tanto calor que el gas arde en el aire volatilizando parte del potasio.

Entre todos los metales, el potasio es uno de los más reactivos: en la Naturaleza no se encuentra nunca solo, en estado libre, sino que siempre aparece combinado con otros elementos. Muchos compuestos del potasio están ampliamente difundidos, abundando en los terrenos agrícolas, en muchas rocas y, puesto que el potasio es un elemento indispensable para la vida, en casi todos los organismos vivientes.

Metales alcalinos El potasio (cuyo símbolo químico es K) pertenece a una familia de elementos llamada "metales alcalinos", que comprende el litio, el sodio, el potasio, el rubidio, el cesio y el francio. Todos los miembros de esta familia son metales blandos, de color blanco-plata en corte reciente (aunque el color del francio no es conocido, ya que no ha sido nunca observado en la naturaleza en cantidades suficientes) y químicamente muy activos. En la tabla periódica de elementos, originariamente propuesta por el científico ruso Dimitrij Mendeleev, los miembros de una misma familia de elementos están situados en la misma columna vertical. Los miembros de la familia de los metales alcalinos figuran en la primera columna a la izquierda de la tabla (familia 1a). La característica principal compartida por todos los miembros de la familia de los metales alcalinos es su fortísima reactividad química. Por ejemplo, el potasio reacciona fácilmente con el oxígeno del aire o con el oxígeno presente en el agua. En estado puro, su luminosidad blanca-plateada se transforma rápidamente en un gris opaco, puesto que los átomos del metal que se encuentran en la superficie se oxidan al combinarse con los del oxígeno que se encuentran en el aire. Para mantenerlo en estado puro, el potasio debe conservarse en un líquido que no contenga oxígeno (por ejemplo, el queroseno) o en atmósfera de nitrógeno.

Compuestos del potasio Si bien el potasio no se encuentra nunca en estado puro, es cuantitativamente el séptimo elemento de la corteza terrestre. Se halla en forma de compuesto, siendo sus principales minerales la kainita, la ortoclasa, la silvina y la carnalita. En el agua del mar se encuentra en pequeñas cantidades, en forma de sales de potasio.

Antiguamente, casi todos los campesinos tenían en sus casas un recipiente lleno de cenizas de madera y agua, en el fondo del cual se había hecho un agujero por el que goteaba una solución densa y amarillenta que, hervida, daba lugar a un compuesto llamado "potasa" (carbonato de potasio). La potasa era usada con excelentes resultados como fertilizante. El nombre del elemento potasio deriva precisamente de esta tradicional denominación inglesa con la que se indicaba tal procedimiento. Desde épocas remotas y hasta la introducción del jabón, el lavado de la ropa se hacía mediante la *colada*: se introducía la ropa en un recipiente en donde caía el agua caliente después de atravesar un colador (filtro) que contenía ceniza. El poder detergente del filtrado se debía a los álcalis (carbonatos de sodio y de potasio principalmente) que se encontraban en las cenizas.

La potasa encuentra numerosas aplicaciones en la fabricación de detergentes, vidrio, cerámica y algunos medicamentos. El salitre, que es un compuesto de potasio, nitrógeno y oxígeno, es el componente más importante de la pólvora. La mayor parte de los compuestos del potasio se utilizan como fertilizantes.

Siendo el potasio un elemento necesario para la vida vegetal, los agricultores suelen hacer bastante uso de sus compuestos, que esparcen sobre aquellos terrenos empobrecidos para obtener un crecimiento equilibrado de las plantas.

Papel biológico El potasio cumple un papel esencial en las células de los tejidos animales y vegetales. A diferencia de los átomos de muchos otros elementos minerales presentes en los tejidos animales, los átomos de potasio, por lo general, no forman parte, ni aisladamente ni como elementos de un compuesto, de las partes celulares. Existen, sin embargo, frecuentes intercambios de potasio entre diversas partes de la célula, obedeciendo a dos importantes funciones: el control de la velocidad de los fluidos dentro y fuera de la célula y la transmisión de los impulsos nerviosos que presiden la contracción muscular.

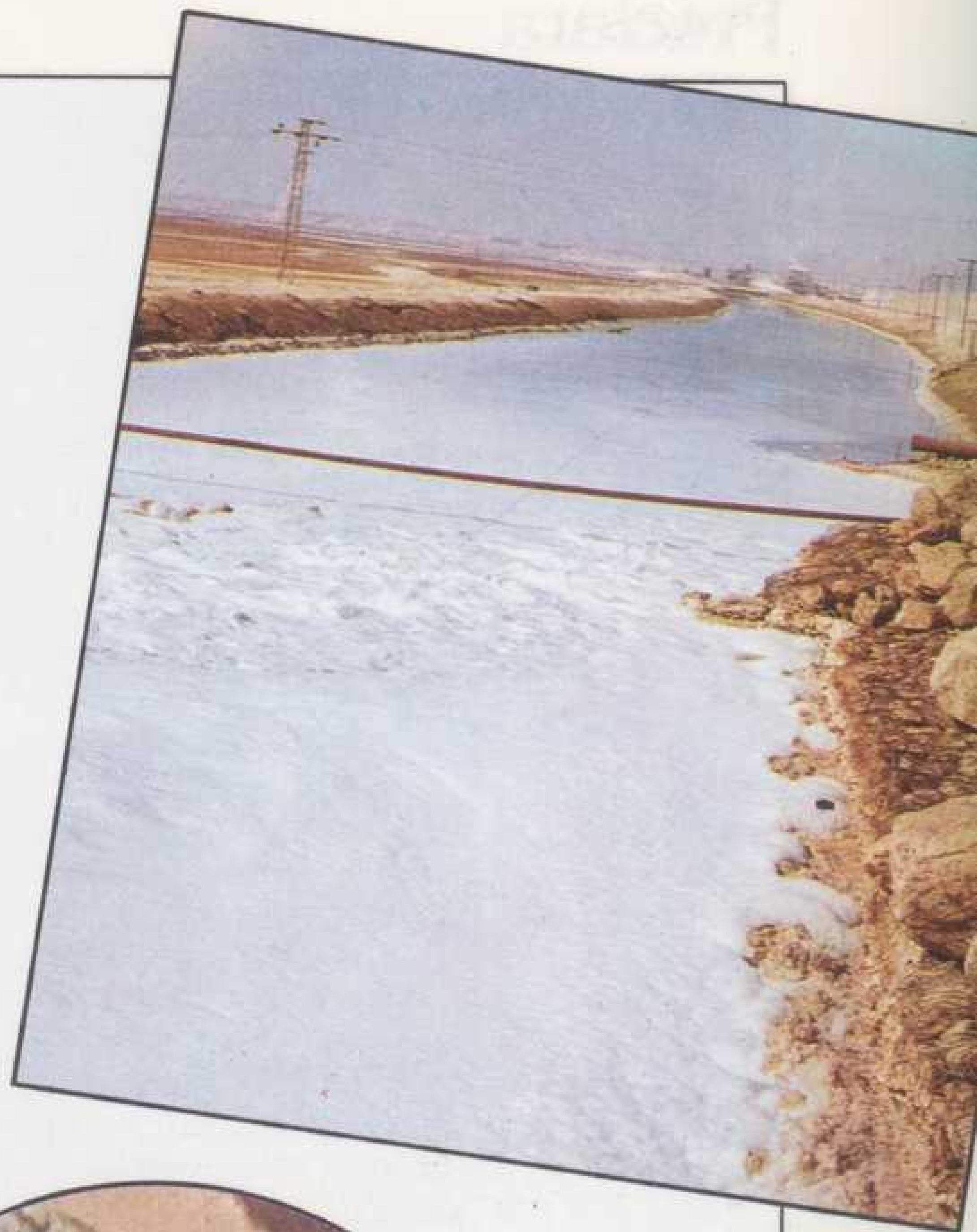
El potasio figura entre aquellos importantes elementos minerales que son necesarios, en dosis relativamente elevadas, para una normal función corpórea. Síntomas de deficiencia potásica son, por ejemplo, la debilidad y la excitabilidad. No obstante, estas deficiencias son en la actualidad poco frecuentes, ya que el potasio está presente en casi todos los tipos de alimentos de consumo habitual. Algunos tratamientos terapéuticos farmacológicos pueden provocar en el organismo pérdidas sensibles de potasio.

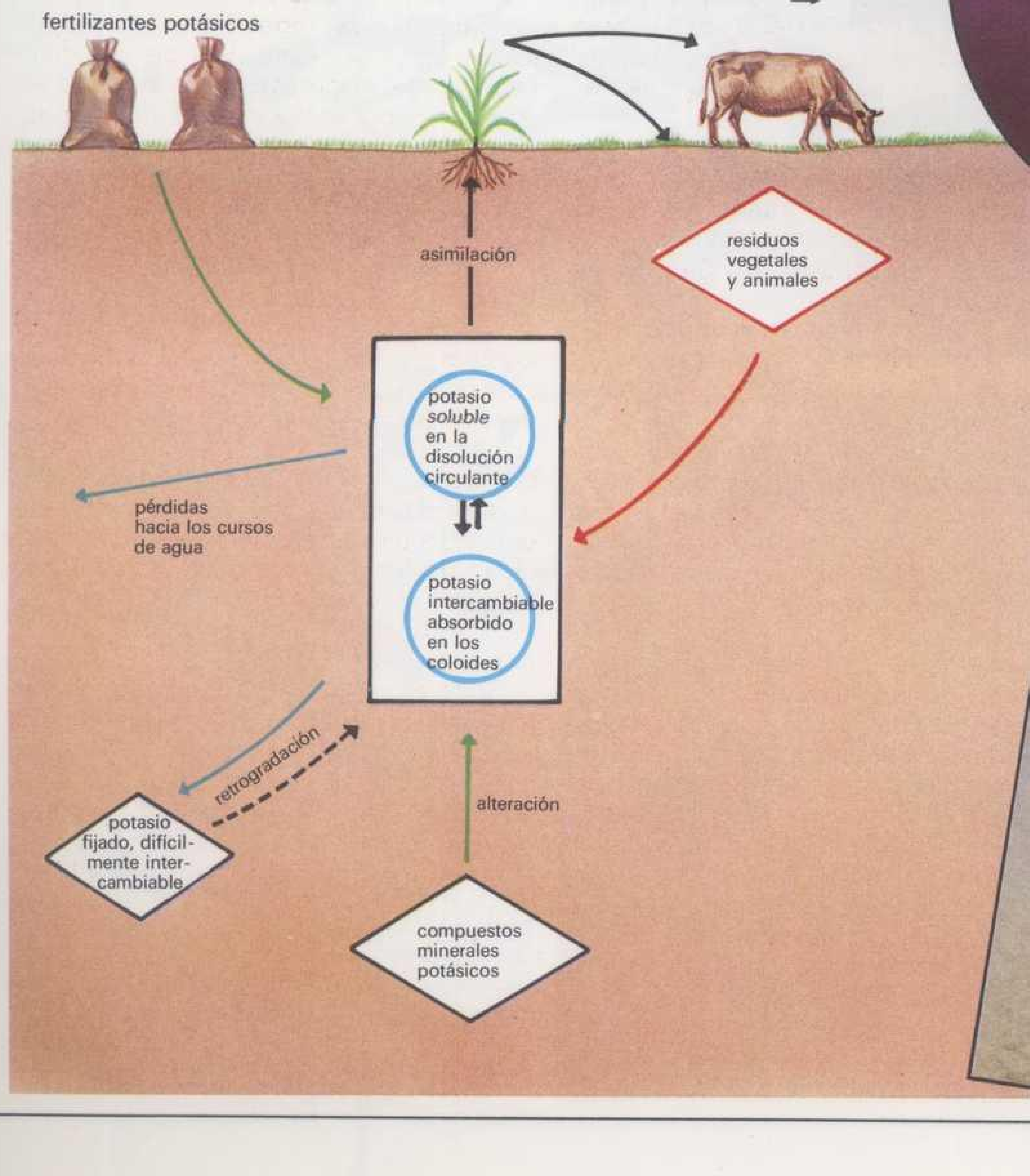
Véase **Litio; Metales alcalinotérreos; Sodio**

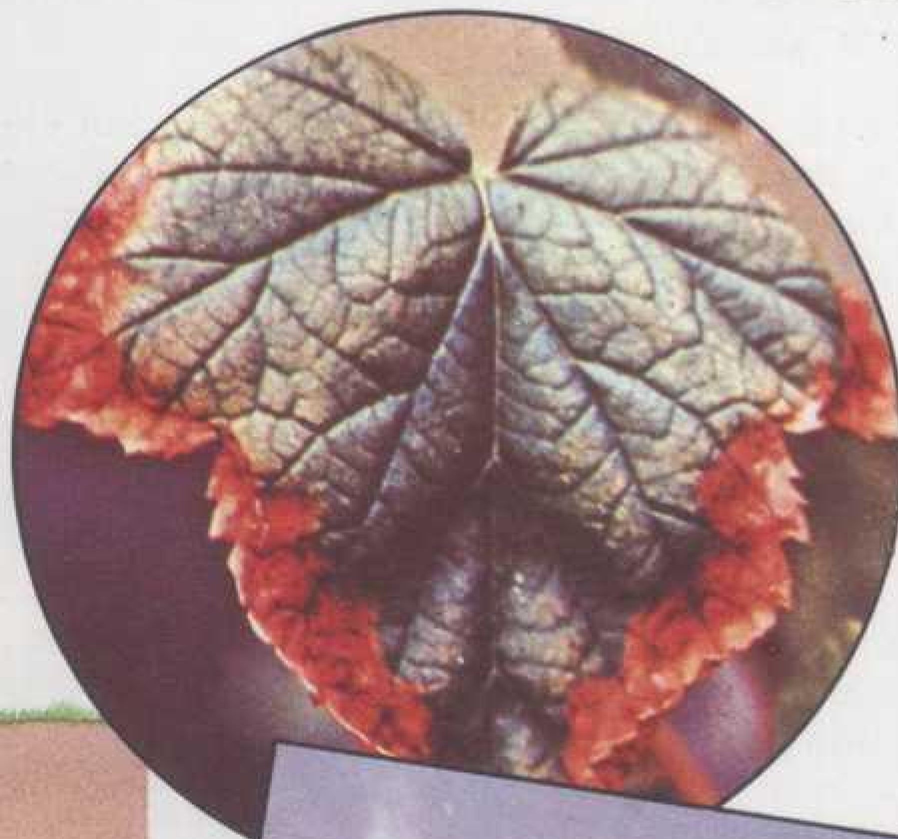
PRINCIPALES COMPUESTOS DEL POTASIO		
NOMBRE QUIMICO	FORMULA	APLICACIONES
hidróxido de potasio	KOH	fabricación de jabones líquidos, baterías eléctricas, etc.
cloruro de potasio	KCl	fuentes de potasio; fertilizante
sulfato de potasio	K_2SO_4	fuentes de potasio; fertilizante
carbonato de potasio	K_2CO_3	fabricación de vidrio y jabón
clorato de potasio	$KClO_3$	agente oxidante, fuegos artificiales, explosivos
nitrato de potasio	KNO_3	pólvora negra, fuegos artificiales; curado de la carne
bromuro de potasio	KBr	sedante, fotografía
yoduro de potasio	KI	medicina, sales yodadas, fotografía
permanganato de potasio	$KMnO_4$	germicida, agente oxidante

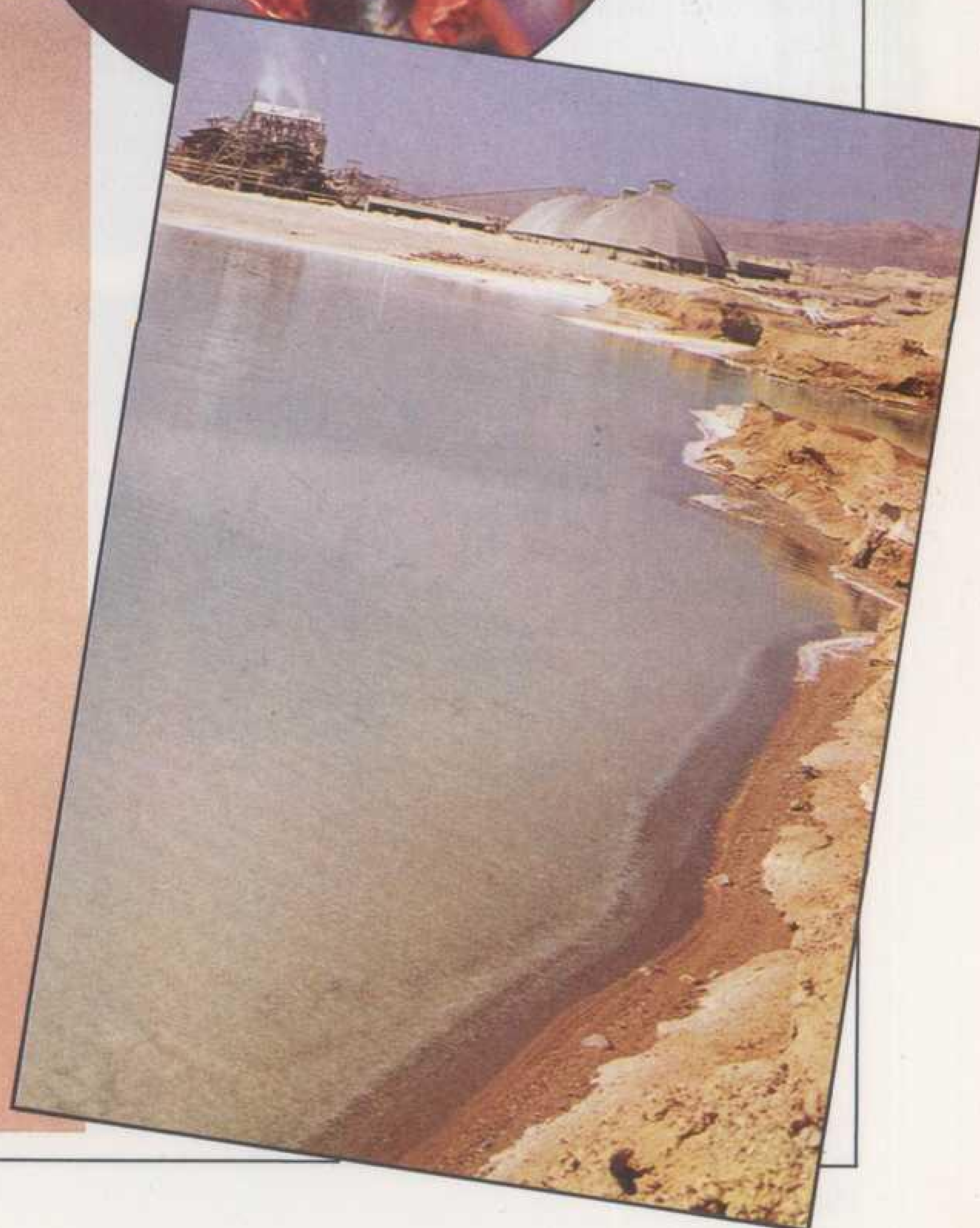
En la Naturaleza existen grandes yacimientos de sales potásicas, entre los que destaca el yacimiento de carbonato de potasio que se encuentra en el mar Muerto (a la derecha). El potasio es el principal macroelemento metálico para la nutrición de las plantas, que lo absorben bajo forma de iones K^+, ya que las sales solubles se disocian en disolución acuosa desprendiendo estos iones, muy difundidos en la Naturaleza. A medida que los iones K^+ solubilizados en el suelo son absorbidos por las plantas, la tasa de K^+ se rehace a expensas del potasio liberado por los compuestos ricos en este mineral así como, también, a partir de la humidificación de diversos residuos animales y vegetales. →

→ Lo contrario ocurre en el caso de exceso de iones K^+, por ejemplo, cuando se añade al terreno sales solubles de potasio con fines fertilizantes: en este caso se pone en marcha un mecanismo inverso de fijación del potasio en los compuestos de los que deriva. Tal proceso inverso no es del todo reversible, ya que se produce en forma parcial de retrogradación por la cual una parte del potasio fijado no resulta disponible para una ulterior solubilización. La carencia de potasio es observable en las hojas: cuando se secan y se enrollan.









Pradera

Manadas de cebras que galopan por las llanuras del Africa oriental; caballos y rebaños de ovejas que migran a través de las estepas asiáticas; vacas y ovejas pastando en los prados de alta montaña: éstas son sólo algunas de las innumerables escenas que caracterizan el hábitat de las praderas de nuestro planeta. Por definición, las praderas son llanuras interiores de los grandes continentes donde la precipitación no es suficiente como para permitir el crecimiento de árboles o bosques como los de las zonas templadas; las pocas lluvias tienen carácter estacional y no suelen sobrepasar los 30-38 cm al año. Se trata de un ambiente ideal para el crecimiento de distintas especies herbáceas, que sirven de pasto para una gran variedad de ganado, y, aunque en forma muy primitiva, también permite algunos tipos de asentamiento humano. Las poblaciones indígenas de las praderas, que por lo general carecen de adelantos técnicos tales como canales, pozos artesianos, tendidos eléctricos, etc., se ven obligadas al nomadismo, en pos de los rebaños que a su vez van siguiendo el crecimiento de la hierba, que depende de la escasa lluvia.

Estepas y praderas Existen cuatro tipos distintos de praderas, según los climas y suelos en que se desarrollan. El más septentrional es el de las *estepas*, caracterizadas por la hierba baja; son típicas del norte de Asia, donde forman una franja ancha al sur del bosque ártico. También son estepas las llanuras que se extienden desde el oeste de Canadá (regiones de Saskatchewan y Alberta), pasando por Montana y Dakota, hasta Nebraska (Estados Unidos). En Africa también encontramos una larga y estrecha franja de estepas áridas al norte del Sahara, desde Marruecos hasta Siria, Irak y el norte de Arabia Saudita. En el hemisferio meridional existe este tipo de pradera en la Patagonia y en las islas meridionales de Nueva Zelanda. Gran parte de las zonas esteparias ha sido roturada para cultivar cereales, a pesar de los riesgos que esto entraña, ya que las precipitaciones suelen ser muy desiguales y siempre existe riesgo de sequía.

Las *praderas propiamente dichas* son bastante parecidas a las estepas, pero gozan de una mayor cantidad de precipitaciones anuales y se sitúan un poco más al sur; la hierba es también más alta; las más características son las grandes llanuras meridionales de Estados Unidos (desde Colorado y Kansas hasta el norte de Texas), de Argentina (donde reciben el nombre de *pampas*), de Africa del Sur (el típico *veldt*) y de Australia.

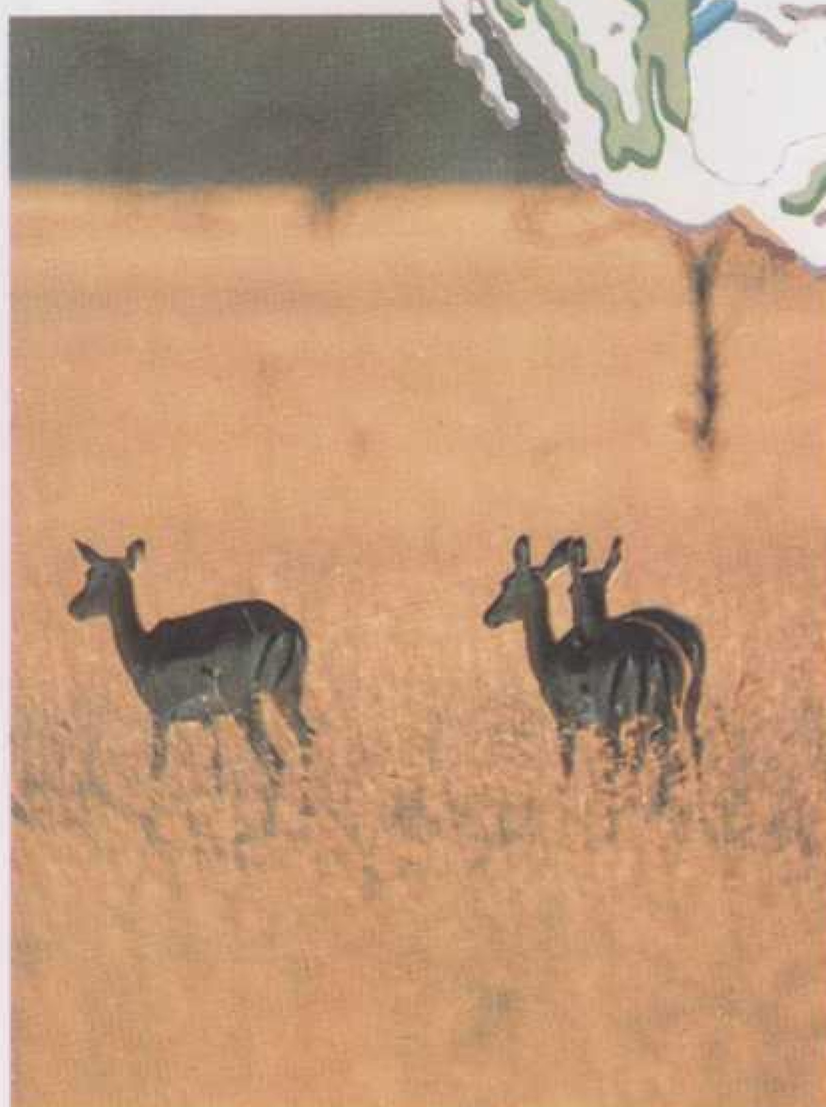
Sabanas y prados alpinos Las sabanas son muy distintas del resto de las llanuras herbáceas, ya que son praderas tropicales caracterizadas por lluvias en el verano y sequía en el invierno. Sus altas hierbas estacionales son más resistentes que las de las praderas típicas. Si hay agua subterránea, crecen árboles dispersos con su característica forma de "paraguas", muy resistentes a la sequía (como las acacias y otras especies espinosas). En los márgenes de los ríos crece una frondosa vegetación.

La típica sabana, la más árida, se encuentra en Africa, en la franja llamada Sahel, que se extiende al sur del Sahara, desde Senegal a Somalia; por debajo de ella hay otra franja algo más húmeda, la sabana "sudanesa"; en el sur de Africa hay sabanas, sobre todo, en Angola, Zambia y Zimbabwe; también encontramos este tipo de formación en el norte de Australia (de Kimberley a Queensland) y en Sudamérica, desde Venezuela a la Guayana.

La sabana es una de las formaciones vegetales más influenciadas por la acción del hombre, que desde su aparición ha despoblado o destruido importantes extensiones de bosques introduciendo el pastoreo intensivo. Los productos agrícolas típicos de la sabana son el azúcar, el sisal o henequén, los plátanos y los aceites vegetales, aunque su principal riqueza reside en la cría de ganado para carne.

Hay un cuarto tipo muy peculiar de pradera, el *prado alpino*, que en latitudes medias se encuentra en la alta montaña. Su límite superior coincide con el límite inferior de las nieves perpetuas: en los trópicos se sitúa alrededor de los 3.700 m,





En las fotos de esta página podemos observar dos aspectos de la pradera: arriba, límite entre la pradera propiamente dicha y una sabana de arbustos en el oeste de Texas; abajo, gacelas pastando en una pradera tropical africana.



Abajo, una pradera en estado natural, que conserva entre su fauna el caballo salvaje. Se trata de Mongolia, donde el caballo es un símbolo de riqueza para el hombre, que lo utiliza para sus largos desplazamientos. El nomadismo es una imposición de la pobreza del medio, ya que resultaría muy arriesgado tratar de alterarlo con cultivos. En la imagen vemos un momento de la captura de algunos caballos salvajes.







Arriba, una pradera a gran altitud en los Alpes Occidentales italianos (Gran Paradiso). La asociación florística comprende gramíneas, tréboles, ranúnculos, chirivías y muchas otras especies. El nuevo pastoreo no ha llegado a alterar el equilibrio de estas asociaciones que el hombre, desgraciadamente, ha destruido en todos aquellos lugares donde ha hundido su arado para introducir nuevos cultivos. El equilibrio introducido es inestable y exige una continua intervención por parte del hombre para conservarlo, de forma que pueda seguir suministrando los productos deseados.

mientras que a 60º de latitud norte o sur está a nivel del mar. Forma extensiones herbáceas por encima del límite de la vegetación arbórea y por debajo de la tundra alpina. En Suecia se llama *fiell* y en Escocia *fell*.

Véase **Estepa y tundra; Sabana**

franja templado-fría: praderas, estepas

franja templado-cálida: sabanas, estepas mediterráneas

franja tropical: sabanas, estepas tropicales y subtropicales

El mapa señala la distribución de las praderas sobre el planeta. Se han representado las principales formaciones para cada franja climática, sin tener en cuenta las zonas de transición entre éstas. Sólo se señala la vegetación natural, al margen de aquellas zonas en las que el hombre ha provocado profundas transformaciones.

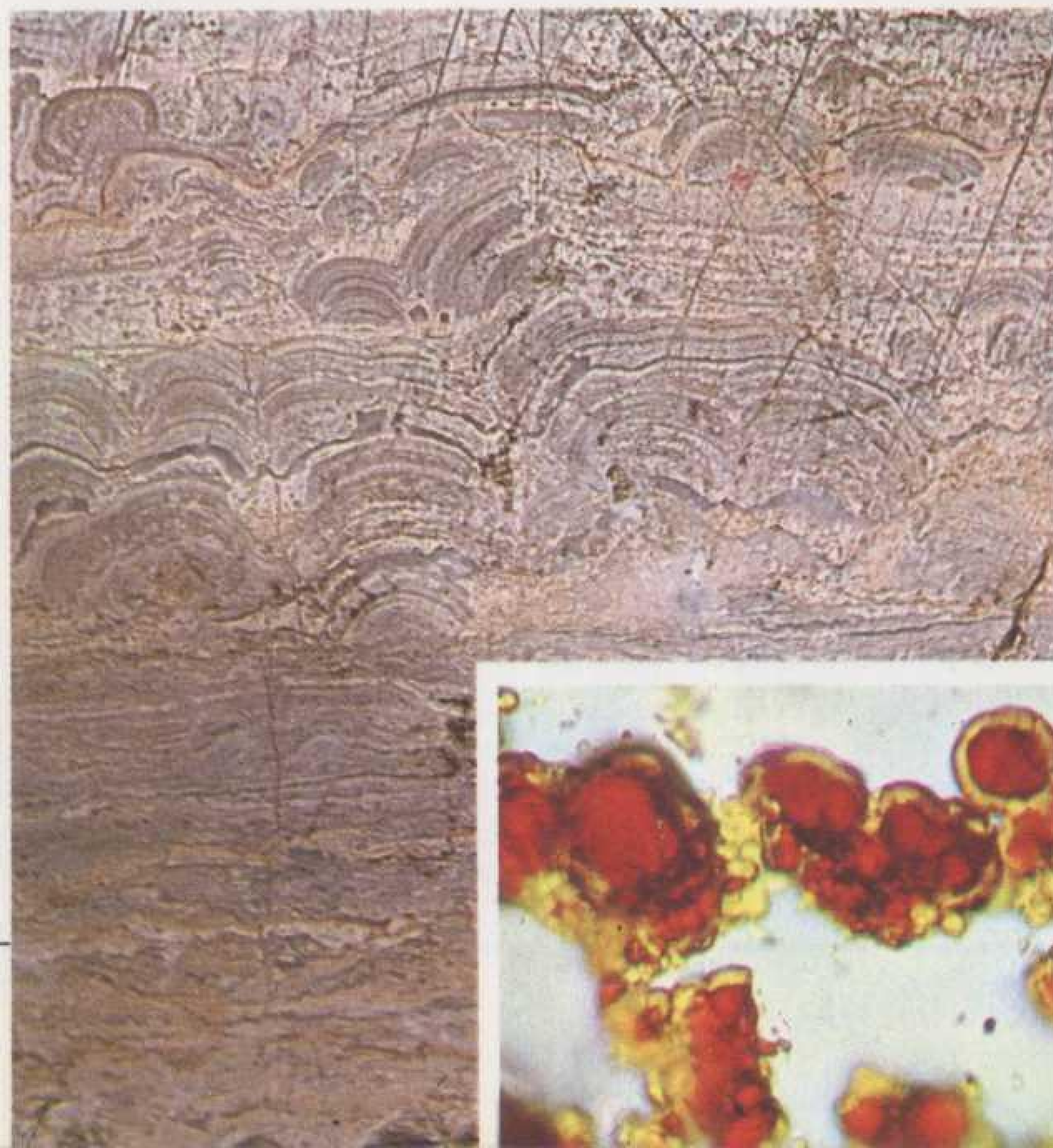
Precámbrica, era

Hace varios miles de millones de años dio comienzo la primera gran era con la que se inicia la compleja y larga evolución geológica y biológica de la Tierra: el Precámbrico. Se trata de un extenso período de tiempo que ocupa prácticamente el 90% de la historia del planeta y que abarca desde el momento en que la Tierra queda individualizada respecto a los demás cuerpos del Sistema solar, hace unos 4.600 millones de años, hasta la gran explosión biológica que inicia la era Fanerozoica, hace 570 millones de años. Durante el Precámbrico, la Tierra adquiere la configuración en capas que presenta actualmente, se forma una corteza sólida, aunque móvil, y aparecen la atmósfera y la hidrosfera. En el Precámbrico aparece además la vida sobre el planeta (hace unos 2.600 a 3.000 millones de años) bajo formas organizativas biológicas muy primitivas y en unas condiciones físicas excepcionalmente difíciles.

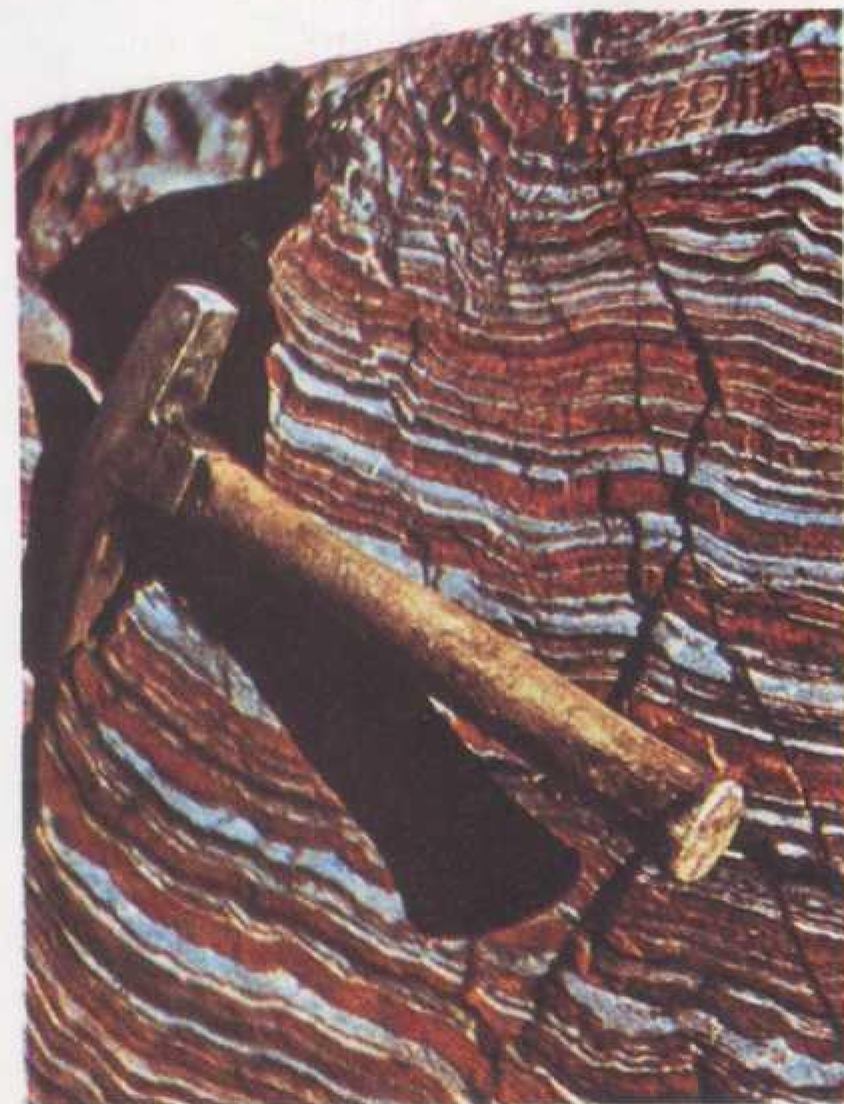
Es precisamente la aparición de la vida la que permite dividir el Precámbrico, cuyo rango es de un Eón en la división cronoestratigráfica de los tiempos geológicos, en dos períodos bien diferenciados: el Arcaico y el Proterozoico. Durante el primero, las condiciones físico-químicas sobre la superficie del planeta fueron probablemente muy hostiles para la posible existencia de vida. El oxígeno, cuyo origen en la atmósfera actual es, en su mayor parte, de procedencia biológica, era un componente muy escaso en la atmósfera arcaica, al igual que el ozono, cuya concentración en las altas capas atmosféricas reduce la intensidad de la radiación ultravioleta que llega a la superficie y que es letal para los seres vivos. Aunque la composición de la primitiva atmósfera, aparte de la ausencia casi total de oxígeno, se desconoce, lo que sí se piensa es que debió de evolucionar progresivamente hasta permitir la aparición de las primeras formas vivas. Este hecho marca el paso al Proterozoico y debió tener lugar en condiciones enormemente complejas, mediante procesos activados por la propia radiación ultravioleta sobre los compuestos de esa atmósfera (metano, amoniaco y agua, según una teoría, y dióxido de carbono, nitrógeno y agua, según otra), pero a cubierto de la misma, en charcas o en fracturas de las rocas. El desarrollo en el mar de plantas unicelulares, probablemente capaces de fotosintetizar el oxígeno gracias a la función clorofílica, provocó un importante cambio en la composición de la atmósfera, aumentando progresivamente los niveles de oxígeno y facilitando así la proliferación subsiguiente de formas biológicas más complejas. Los metazoos, u organismos multicelulares, aparecen a finales del Proterozoico. Se trata, en un principio, de formas blandas, sin caparazones ni esqueletos: celentéreos y anélidos mayoritariamente. El fin del Precámbrico lo marca una gran explosión biológica caracterizada por una enorme diversidad de organismos altamente organizados y dotados de caparazones o esqueletos, gracias a los cuales se han conservado como fósiles en las rocas.

Las rocas. Fuentes de la historia de la Tierra Las rocas precámbricas son las más antiguas que se conocen, y su estudio nos proporciona información sobre este dilatado período de la historia de la Tierra. Desgraciadamente, las rocas precámbricas que se conservan se hallan intensamente transformadas por los procesos propios de la dinámica interna del planeta: la orogénesis y el metamorfismo. Esto se debe a múltiples causas. Por un lado, los largos lapsos de tiempo transcurridos han puesto al descubierto las partes más internas de las cadenas de plegamiento formadas durante los períodos orogénicos precámbricos. Estas rocas están, pues, intensamente plegadas y han sido reconstruidas mineralógicamente como consecuencia de las altas temperaturas y presiones (metamorfismo) reinantes en esas regiones. Asimismo, el mayor grado de calentamiento de la corteza en el Precámbrico favoreció los procesos de fusión y la generación de ingentes masas de magma granítico que atravesaron estas rocas. Las rocas precámbricas se encuentran actualmente formando los llamados escudos, esto es, bloques rígidos que, por efecto de la dinámica de placas durante el Fanerozoico, se dispersaron entre varios continentes. Hay escudos precámbricos en América, Escandinavia, Africa, Aus-

La era Precámbrica, dividida en dos períodos, el Arcaico y el Proterozoico, comienza con la formación de la Tierra y concluye al cabo de casi cuatro mil millones de años. Hoy se sabe que la vida comenzó en las aguas de los océanos a consecuencia de procesos químicos y físicos naturales que actuaron sobre los compuestos químicos presentes en la atmósfera primitiva en condiciones ambientales muy particulares. La acción de las intensas radiaciones solares sobre los probables componentes de esa atmósfera primitiva —hidrógeno, metano, amoniaco y vapor de agua— habría terminado generando las primeras moléculas orgánicas, entre ellas los aminoácidos, las unidades básicas de la materia viviente; a partir de ellos se formaron las proteínas que, combinándose de diferentes maneras, dieron origen a la infinita variedad de estructuras biológicas. Los primeros organismos eran muy sencillos, pero se pasó de una manera gradual a formas más complejas y más especializadas, capaces de adaptarse a las condiciones ambientales en continua mutación. Los primeros organismos fueron plantas: algas, hongos y líquenes. Estos organismos se alimentaban del material que se había ido acumulando en los millones de años precedentes en las aguas de los océanos. Agotadas estas reservas, tuvieron que desarrollar la capacidad de fabricarse su propio alimento, partiendo de sustancias como el dióxido de carbono y el agua, y utilizando la energía de la luz solar (fotosíntesis). De los organismos unicelulares se pasó a los pluricelulares, consistentes en una asociación en colonias de células del mismo tipo. A éstos les sucedieron formas más complejas, con células especializadas y dedicadas a funciones distintas, que caracterizan el final del Proterozoico y adquieren su apogeo a principios del Fanerozoico (período Cámbrico).

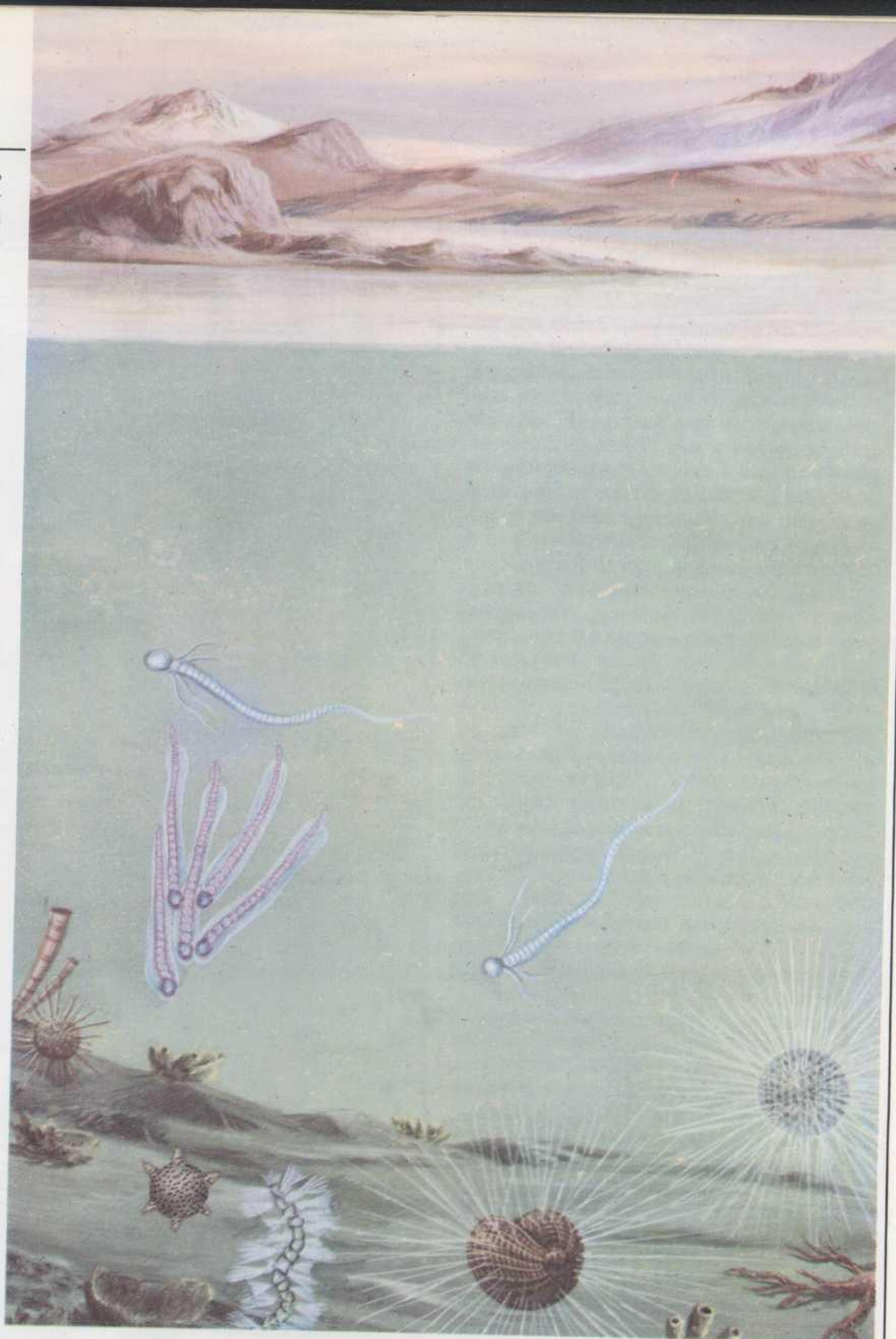


Compuestos por carbonato de calcio, precipitado por las cianobacterias, así como por otros minerales detríticos atrapados en la malla de algas, los estromatolitos (a la izquierda) proliferaron en el Proterozoico, entre 2.700 y 570 millones de años. Se formaron en zonas litorales lacustres o marinas, en la región situada entre los límites de las mareas, y requerían aguas poco agitadas. En el recuadro, algas azules unicelulares descubiertas en Africa del Sur en formaciones rocosas precámbricas. A la derecha, formaciones de hierro en bandas, típicas del Precámbrico.



tralia, India y Antártida. Esos bloques, constituidos a su vez por restos de cinturones plegados superpuestos de formas complejas, se han comportado de forma rígida durante los períodos de plegamiento fanerozoicos. También se pueden encontrar rocas precámbricas en los núcleos de las cadenas de plegamiento más reciente, como parte del basamento de las mismas.

En el Arcaico la dinámica cortical debió de ser muy intensa, con abundantes núcleos continentales pequeños y extensos océanos en continua interacción debida al movimiento de las placas, esto es, a la expansión oceánica: subducción y colisión. Durante el Proterozoico la situación se estabiliza, evolucionando hacia un reducido número de continentes en situación parecida a la actual. Las rocas precámbricas más antiguas, datadas por métodos radiactivos, muestran una edad de unos 3.800 millones de años. Se trata de antiguos granitos localizados en Groenlandia, que atraviesan a su vez rocas sedimentarias más antiguas. Esto indica que la corteza continental debía de estar ya constituida hace 4.000 millones de años. Los sedimentos que se depositan en el Precámbrico experimentan un cambio importante al aparecer la vida sobre la Tierra. Durante el Arcaico predominan los sedimentos detríticos asociados a rocas volcánicas y formaciones exhalativas bandeadas de hierro en estado reducido. En el Proterozoico la actividad biogénica da lugar a importantes formaciones calcáreas, llamadas *estromatolitos*, formados por la precipitación de carbonato cálcico ligado a la actividad de grandes colonias de algas filamentosas verde-azuladas. Estas algas unicelulares son organismos de tipo eucariote, esto es, muestran un núcleo celular individualizado mediante una membrana, lo que permite su reproducción por división y transferencia de material genético (ADN). Estos organismos, que representan un estado evolutivo superior a las algas unicelulares procariotes en las que no existe un núcleo definido, hacen acto de presencia en el Proterozoico. Los estromatolitos se asocian también a formaciones de hierro en bandas, en las que el hierro, sin embargo, se encuentra ya en forma oxidada. La actividad fotosintética ligada al florecimiento de las algas verde-azuladas produce un aumento progresivo en los contenidos de oxígeno en la atmósfera, que a su vez facilita la diversificación biológica y la aparición de formas más organizadas (metazoos), al principio sin partes duras y, finalmente, hacia finales del Precámbrico, con esqueletos y caparazones de quitina o carbonato cálcico.



Arriba, reconstrucción ideal de un paisaje marino de hace 880 millones de años, en la era proterozoica. Abundan los organismos unicelulares, que habitaban las templadas aguas precámbricas, cuyo color verdoso se debe a la presencia de plancton; en los fondos arenosos vivían muchas especies de algas verdes, mientras que en las tierras emergidas no existía vegetación alguna. Desde las montañas descendían glaciares hacia las llanuras.

Riquezas minerales Aparte de la importancia del Precámbrico en términos de evolución geológica y biológica, en este gran período de la historia de la Tierra se forman importantes yacimientos de minerales de gran interés económico hoy día. Tal es el caso de los gigantescos depósitos de hierro que ya hemos citado y que parecen estar ligados a actividades exhalativas (fumarólicas) volcánicas. Los del Arcaico, formados en una atmósfera anoxigénica, contienen minerales pobres en oxígeno, como la magnetita (Fe_3O_4), la siderita (CO_3Ca) y la pirita (S_2Fe). Durante el Proterozoico la atmósfera más oxidante favorece la formación del óxido de hierro rojo, la hematites (Fe_2O_3). Las formaciones de hierro adquieren así una coloración rojiza, por lo que se las llama también "capas rojas". Ejemplos de estas formaciones son los cinturones de Abititi en Canadá, de origen arcaico, y de Minnesota septentrional (EE UU), de origen proterozoico (datados en unos 2.000 millones de años). También de origen precámbrico son los yacimientos auríferos y uraniníferos del Witwatersrand y Dominion Reef en Sudáfrica, de los que existen equivalentes en Brasil y Canadá. Se trata de depósitos aluviales, conglomerados y areniscas formadas por cuarzo y oro nativo (placeres), en los que además hay sulfuros y óxidos de uranio procedentes de la oxidación de la uraninita (UO_2), forma reducida del óxido, que indica condiciones anoxigénicas durante la formación del depósito, de edad proterozoica temprana.

Además de los mencionados, hay también importantes yacimientos de muy diversas génesis: de cromo, níquel, manganeso, cinc y elementos más raros, como litio, tántalo, berilio y estaño.

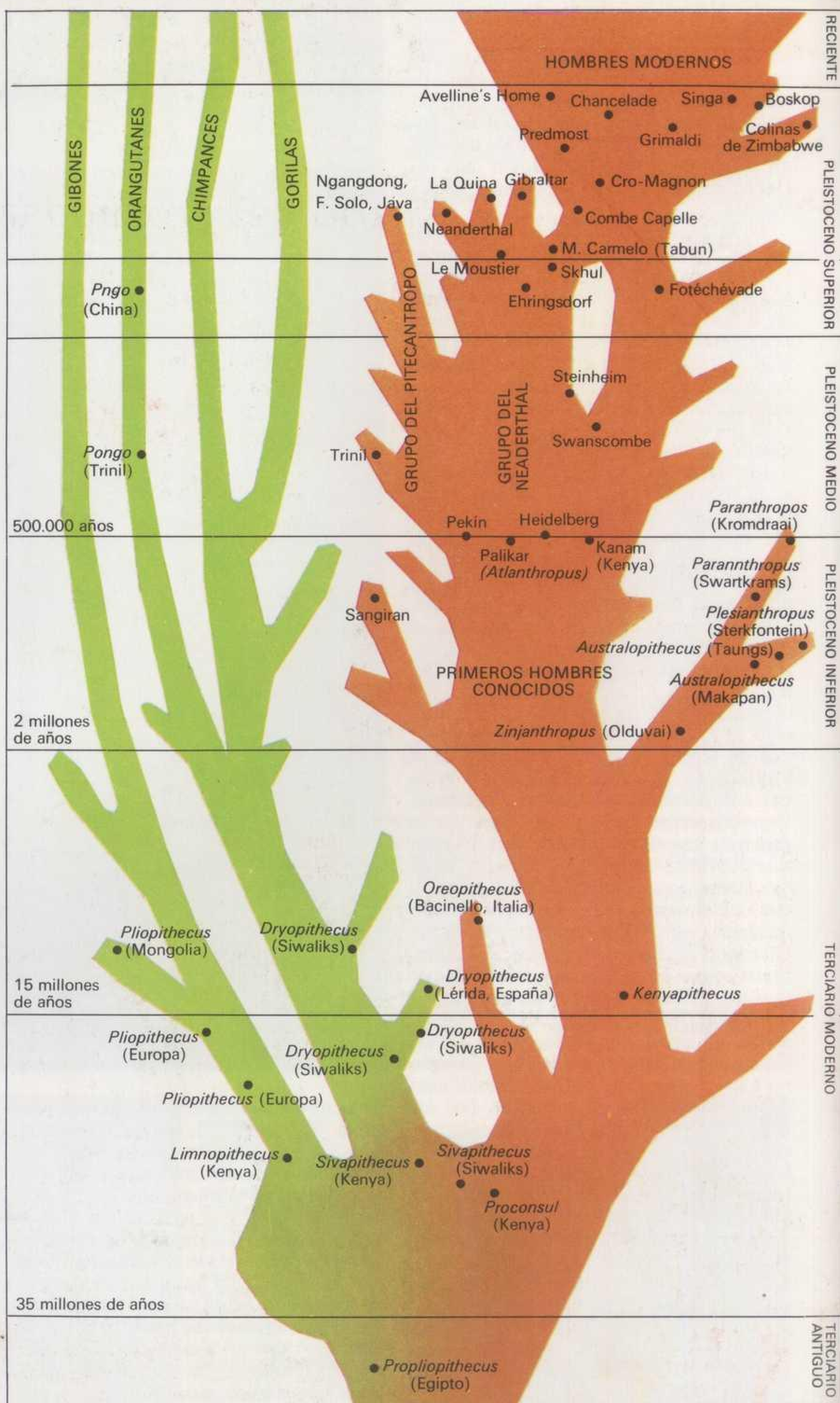
Véase **Biología; Cámbrico, período; Datación por carbono 14; Geología; Vida, origen de la**

Prehomínidos

Es muy probable que, más de una vez, en el transcurso de alguna conversación, hayamos escuchado la típica frase de que el hombre deriva del mono, sin pararnos a pensar que esta afirmación es errónea y no refleja con fidelidad los planteamientos de la teoría de la evolución formulada por Charles Darwin y T. H. Huxley

A pesar de que los restos fósiles que se refieren a la evolución del hombre eran aún poco claros en 1859, cuando se publicó la obra de Darwin *El origen de las especies*, los dos fundadores de la teoría de la evolución intuyeron que el *Homo sapiens* y los monos eran especies separadas por varios millones de años de evolución divergente, aunque hubieran tenido antepasados comunes. Los primeros descendientes de aquellos posibles antecesores comunes que empezaron a diverger hacia el hombre, tal vez hace unos 30 millones de años, recibieron el nombre de Prehomínidos. De todos modos se trata de una denominación bastante genérica para referirnos, de alguna forma, a aquellos antepasados nuestros todavía tan poco conocidos. De hecho, las obras de Darwin dicen poco acerca de la evolución del hombre. Huxley, en su libro *El lugar del hombre en la naturaleza*, publicado en 1863, introduce los puntos esenciales de la doctrina evolucionista moderna al tratar el tema de las relaciones entre el hombre y las demás especies animales. Este brillante zoólogo y anatomista demostró de manera concluyente la similitud esencial que existe entre la estructura de los monos más evolucionados (gorilas, orangutanes y chimpancés) y la de la especie humana, aunque nunca llegó a establecer ninguna hipótesis sobre una cuestión acerca de la cual carecía totalmente de documentación, como era la configuración anatómica de la especie humana en las primeras fases de su evolución. De todas formas, sus estudios demostraron claramente que el hombre y el mono descendían de un antecesor común que ocupaba un lugar impreciso en la cadena evolutiva. La tesis de Huxley se acepta también en nuestros días, aunque no ha sido aún comprobada. Tanto los paleontólogos como los antropólogos han hallado gran cantidad de restos fósiles que han permitido desvelar bastantes pasos de la historia evolutiva del hombre, aunque todavía no han establecido cuál pudo ser realmente el antepasado común entre éste y los grandes monos actuales, aun cuando los Dryopitécidos parecen ser los más probables candidatos.

Existen ciertas especies fósiles que se pueden relacionar con la nuestra, y datan de hace unos 15 millones de años. Dado que la especie humana, *Homo sapiens*, está clasificada dentro de la familia de los Homínidos, estas especies primitivas, de las que sólo disponemos de algún fragmento de cráneo o de fémur, también se incluyen en la misma familia. La especie humana, según parece, es la única superviviente de esta familia homínida. Los hombres de *Neanderthal*, que vivieron de 100.000 a 50.000 años atrás, así como el *Ra*-



Sobre estas líneas, una reconstrucción aproximada del tronco evolutivo común del hombre y de los monos, en el que se observa su posterior bifurcación en dos ramas evolutivas bien diferenciadas. Una de las ramas ha conducido a los grandes monos actuales, mientras que la otra, a través de millones de años, ha dado origen a la línea *Homo*, de la que deriva el hombre. La aventura del hombre se inicia, por tanto, hace unos 15 millones de años, cuando aparecen los *Ramapithecus*. Se han descubierto restos fósiles de *Ramapithecus* en Europa, Asia y Africa. Los caracteres morfológicos que llevan a incluirlos dentro de nuestra línea evolutiva son: cara aplanada, caninos poco desarrollados, morfología del primer molar inferior con un solo tubérculo no cortante, mandíbula redondeada y aumento →

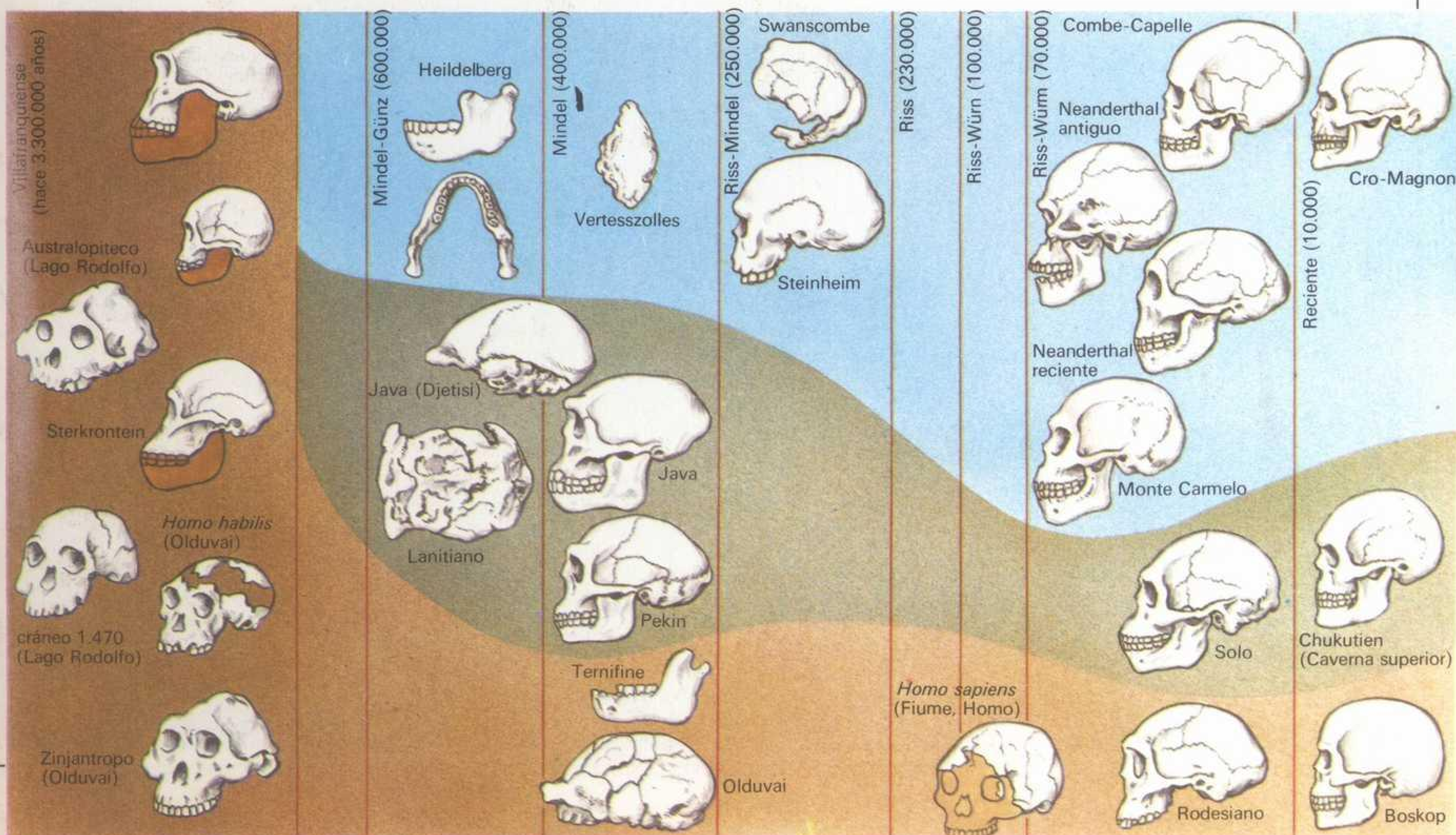
mapithecus y el *Australopithecus*, también están clasificados como homínidos. En Antropología, el término prehomínido no ha sido aún totalmente aceptado, y sólo se puede utilizar en un sentido amplio para designar determinadas formas de transición dentro de la evolución de los homínidos. Su historia es todavía oscura, por lo que representa probablemente el tema más apasionante de la Antropología física.

Hominoides, Antropoides y Homínidos El método moderno de clasificación zoológica, elaborado por Linneo en 1754, sitúa la especie humana dentro del orden de los Primates, junto a los monos antropomorfos, monos, lemúridos, murciélagos y muchas otras especies vivientes. La ciencia moderna mantiene al *Homo sapiens* dentro de este orden, mientras que excluye de él a los murciélagos y añade a las musarañas arborícolas y a otras especies que han empezado a ser conocidas después de que Linneo completara su trabajo, concretamente unas extrañas familias de animales que viven sobre los árboles en las selvas tropicales. Precisando más, el hombre pertenece al suborden de los Antropoideos, superfamilia de los Hominoideos. Nuestro suborden excluye a las musarañas arborícolas (pequeños insectívoros con una parte desproporcionadamente grande de su cerebro encargada del funcionamiento del aparato visual), así como a los lemúridos, túrsidos y muchos otros primates primitivos. Los Antropoideos incluyen únicamente a los monos de América del norte y del sur, Asia, Africa y Europa (Gibraltar es el único lugar de Europa donde se pueden encontrar monos antropoideos en nuestros días), a los monos antropomorfos o póngidos y al *Homo sapiens*. Los Antropoideos, en general, representan un paso evolutivo más avanzado que los Prosimios, el otro suborden de los primates. Aún así, el antiguo antepasado de todos los antropoideos vivientes y fósiles se parece bastante a los prosimios. Uno de los antepasados más primitivos de la actual musaraña era también un antepasado del *Homo sapiens*, anterior a los prehomínidos. El término prehomínido abarca entonces a aquellas formas fósiles cuyo único descendiente vivo es el hombre. Actualmente, la clasificación zoológica de la especie humana es la siguiente: especie *Homo sapiens*, familia Homínidos, superfamilia Hominoideos, suborden Antropoideos, orden Primates. Los prehomínidos son probablemente miembros de la superfamilia de los hominoideos, aunque hay científicos que creen que pueden representar un punto clave con posibles, aunque inciertas, conexiones con líneas evolutivas no homínicas.

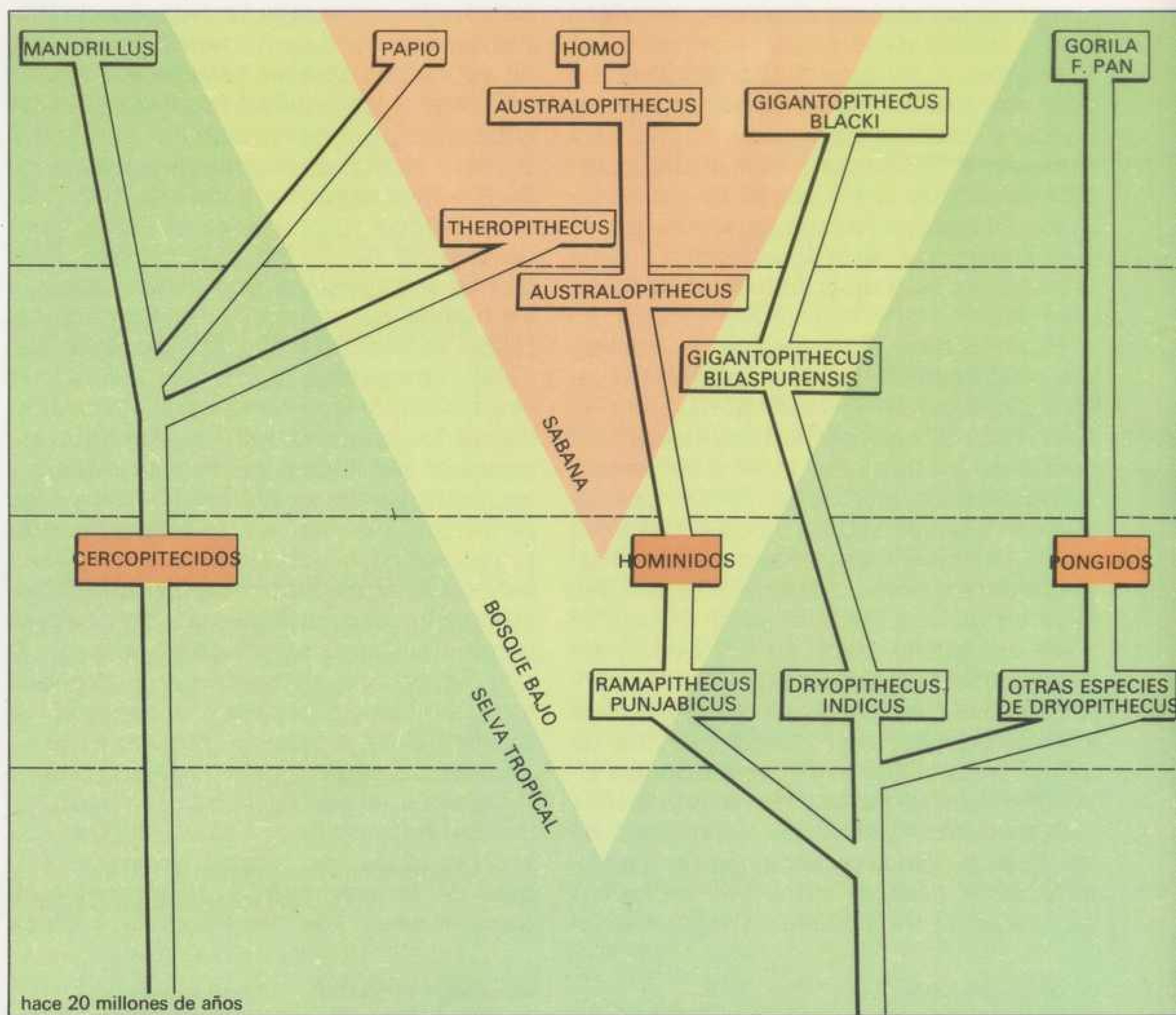
Según los restos fósiles recientemente descubiertos, los predecesores más probables de los homínidos, aunque no se dispone de pruebas sobre sus conexiones directas, son los Póngidos fósiles, entre los que el género cosmopolita *Dryopithecus* comprende muchas formas ancestrales del *Ramapithecus*. El *Ramapithecus* es el primer posible homínido conocido, pero, aunque por ahora sólo se han identificado con seguridad restos de la mandíbula y otros huesos faciales, no se puede saber nada más acerca de su postura, su locomoción, la anatomía de sus extremidades y su hábitat, características éstas que podrían contribuir a incluirlo o no dentro de la familia de los homínidos.

El ambiente de los prehomínidos y el desarrollo de las características de los homínidos A pesar de que se desconoce la datación exacta de la aparición de las primeras formas de prehomínidos, se piensa que probablemente tuvo lugar durante la transición del Oligoceno al Mioceno, hace unos 25 millones de años. Las selvas y los grandes árboles con espeso follaje, tan importantes para el desarrollo de los prima-

→ de las dimensiones de los molares. Las hipótesis sobre los orígenes de la especie humana han tenido que ser revisadas varias veces durante los últimos años con el fin de adaptarlas a los continuos, descubrimientos que en ellos han tenido lugar. Esos descubrimientos han permitido aclarar algunos puntos oscuros de la historia evolutiva del hombre. En el diagrama inferior se indican esquemáticamente algunas de las etapas evolutivas de los homínidos más recientes. Las bandas de color indican sus áreas de difusión. De arriba a abajo: Europa, Asia y Africa. Parece ser que este último continente, por lo que sabemos hasta el momento, es la cuna del género humano. El descubrimiento del *Zinjanthropus*, cuyos restos fósiles se hallaron en la garganta de Olduvai, en Tanzania, parece confirmar esta hipótesis. También en Asia se han hecho importantes descubrimientos arqueológicos. En China, en Chukutien, cerca de Pekín, aparecieron en 1927 los primeros fósiles del Sinántropo. Otro de los Pitecántropos más notables es el que se descubrió en 1891 en Trinil (Java). Se trata de un *Pithecantropus erectus*, asociado a fósiles de elefante, rinoceronte y ciervo. Por último, en Europa están los clásicos restos del *Homo neanderthalensis*, a partir del cual se desarrolló, hace casi 30.000 años, el hombre de *Cro-Magnon*, la variedad más conocida de *Homo sapiens sapiens*, que representa el último estadio evolutivo.



tes, experimentaron un notable decrecimiento durante aquel período, formándose grandes extensiones de praderas. Puesto que todos los homínidos conocidos son bípedos (caminan habitualmente sobre las extremidades inferiores), los predecesores del hombre se originaron probablemente a partir de esas especies que en el Mioceno abandonaron los árboles y fueron ocupando las praderas. La transformación en bípedos, que fue gradual, tuvo gran importancia en la evolución de los homínidos y, especialmente, en el desarrollo del *Homo sapiens*. Esta posición le permitió disponer de las manos para el empleo de armas rudimentarias y de utensilios, así como la cabeza erguida les proporcionó un aumento de su campo visual. Todo ello confirió a nuestros antepasados una mayor seguridad ante el peligro y a la hora de buscarse el alimento. Otra importante característica de estos antepasados del hombre debió residir en el notable tamaño de su cuerpo, que no sólo les permitió sobrevivir frente a un gran número de carnívoros del Mioceno, sino que además debió facilitarles la caza de alguno de estos últimos, entre los que, probablemente, figurarían algunos antepasados de los perros y gatos actuales. La gran corpulencia de los prehomínidos también podría haber sido una de las causas que motivaron su abandono de la vida arbórea. Como ya hemos mencionado, to-





En la página anterior, arriba, podemos observar el desarrollo del árbol evolutivo de los primates durante los últimos 15 millones de años. En él se evidencia el cambio gradual del hábitat que ha llevado al cambio de unas formas típicamente arborícolas a otras de bosque ralo, y más tarde de sabana. En efecto, las antiguas praderas no han sido sólo el lugar ideal para la diversificación y multiplicación de las especies animales rumiantes, sino también el gran escenario en el que aparecieron los más lejanos antepasados del hombre, tales como los Ramapitecos. Estos primates se deslizaban con gran agilidad entre el ramaje de las selvas, donde encontraban el sustento. Su mano se asía con fuerza a las ramas, y debido a la disposición del pulgar podían utilizar los pies y las manos mejor que los prehomínidos. Cuando las selvas empezaron a retirarse, los Ramapitecos perfeccionaron su capacidad de prensión y deambulación, y lentamente conquistaron las sabanas, convirtiéndose en cazadores (abajo a la derecha). Si nos remontamos en el árbol evolutivo, se observa que el ambiente arbóreo se va abandonando progresivamente: los Australopitecos se dispersan por zonas abiertas, sobre todo a lo largo de extensiones herbáceas y en la proximidad de los cursos de agua. En la época del *Homo erectus* hay otro paso adelante en el proceso de adquisición de autonomía con respecto al medio. Se trata del perfeccionamiento de los utensilios, el dominio del fuego y la capacidad de construir refugios, lo que reduce notablemente la dependencia del medio en el que viven. De esta forma, los hombres abandonan las latitudes tropicales y se dispersan hacia nuevos ambientes que en el pasado, por inhóspitos, resultaban inaccesibles. En este sentido, el dominio del fuego cumplió un papel fundamental, ya que facilitó los desplazamientos, constituyó una buena defensa contra los depredadores, permitió la conservación de los alimentos y mitigó el frío en las estaciones más adversas.

davía no se ha probado que el *Homo sapiens* descienda directamente de ninguno de los prehomínidos conocidos, entendiendo que el término prehomínido es impreciso ya que no se refiere en particular a ninguna especie conocida de la línea evolutiva del hombre. La línea directa de ascendencia continúa siendo una incógnita, especialmente en lo que se refiere a los prehomínidos, aunque algunos hallazgos recientes parecen sugerir ciertas indicaciones acerca de esos antepasados directos.

La aparición de los homínidos Los escasos restos fósiles que nos han proporcionado cierta información sobre la evolución humana son todavía muy fragmentarios, de forma que presentan muchas lagunas significativas que afectan también al estadio prehomínido. Se sabe muy poco acerca del desarrollo de los homínidos a partir de los prehomínidos o acerca de la diferenciación existente entre los monos antropomorfos, los monos y sus antepasados comunes. Aun así, los restos del *Ramapithecus*, del *Australopithecus* y de otros antiguos homínidos, que datan de hace unos 15 millones de años, indican claramente que los prehomínidos mostraron una cierta tendencia a la posición erecta (incremento de la utilización de las manos, con pulgares oponibles), a la alimentación omnívora (capacidad de alimentarse tanto de vegetales como de animales, que es una característica común de muchos primates) y, por último, también indican que desarrollaron unos órganos de la vista muy especializados.

Caracteres físicos A juzgar tanto por las especies que les precedieron como por las que les sucedieron, los prehomínidos pesaban aproximadamente 36 kg y medían cerca de un metro. Tenían unos caracteres somáticos muy toscos, un cráneo poco desarrollado, la forma del núcleo ilíaco muy distinta de la de los otros primates, así como una mandíbula y un sistema dentario muy desarrollado, pero similar al de los hombres actuales. Ciertamente, usaban los brazos para mantener el equilibrio cuando caminaban, si bien con el tiempo este sistema de equilibrio debió ir perdiendo importancia. Comían todo aquello que podían consumir sin peligro, aunque es poco lo que se ha podido deducir acerca de su manera de cazar (la verdad es que no se tiene ninguna referencia concreta y sólo se dispone de suposiciones más o menos acordes con su nivel evolutivo). No se tiene ninguna certeza de que en el momento de su extinción sus manos pudieran tener o no el pulgar oponible para agarrar y usar utensilios, pero con el paso del tiempo, cuando los últimos prehomínidos ya iban a pasar al estadio de homínidos primitivos, es evidente que por lo menos habían desarrollado esa característica fundamental que transformó la mano, dejando así de ser ésta un instrumento de locomoción para convertirse en un medio eficaz de empuñar objetos con una técnica precisa, hecho decisivo para la evolución humana.

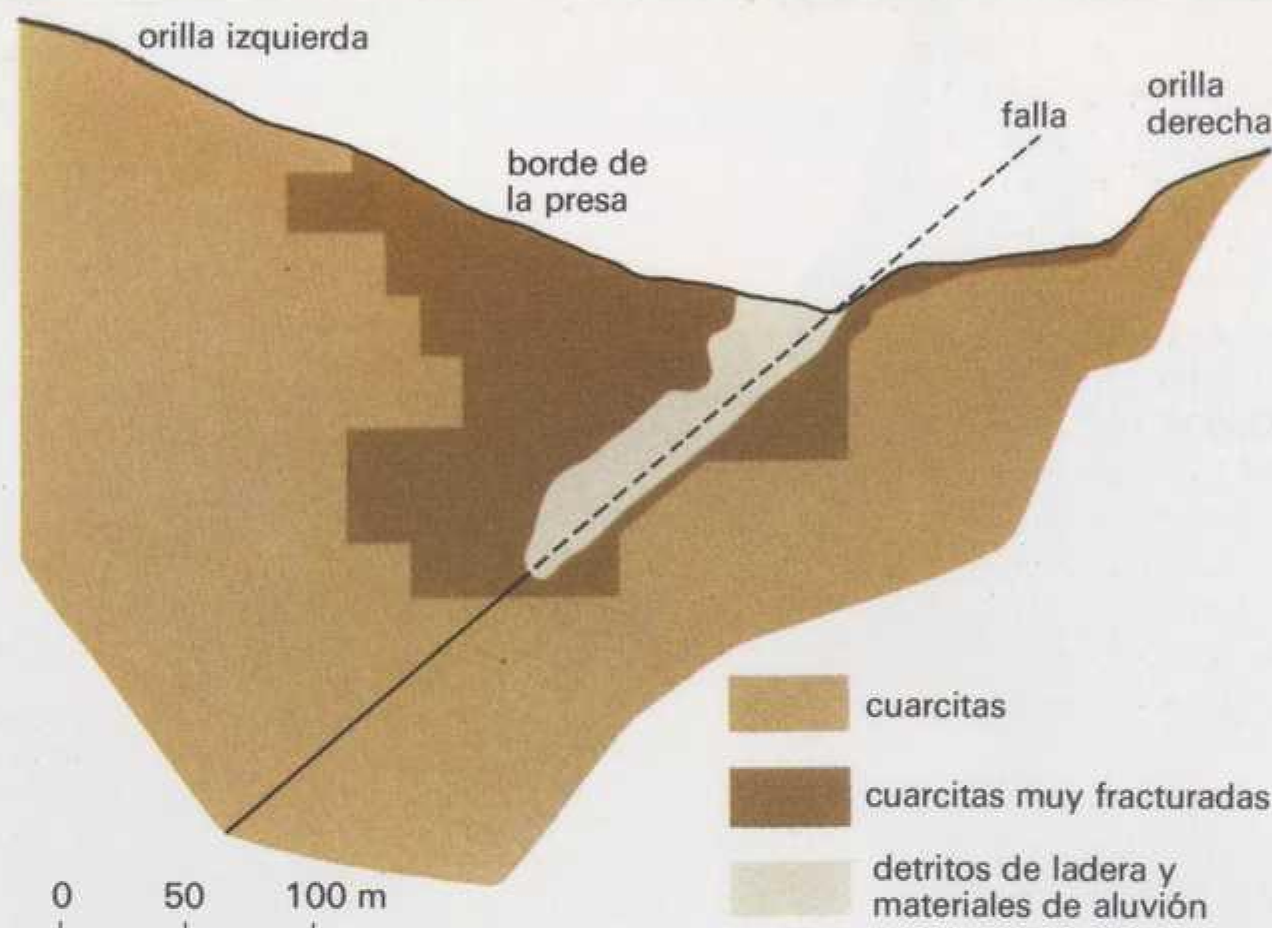
Véase **Antropología física; Evolución; Evolución humana**

Presas y embalses

Una *presa* es una estructura que actúa como barrera, interrumpiendo la circulación del agua en el curso de una corriente, y que puede llegar a transformar la economía y la ecología de una región entera. Bloqueando el cauce de un río con una presa de aprovechamiento hidroeléctrico, es posible la retención y distribución de agua para el consumo doméstico, para el regadío y para la industria; además se puede conseguir mejorar la navegabilidad de un río y generar energía eléctrica con un costo bastante bajo. Igualmente, las aguas retenidas por la presa forman espléndidos embalses o pantanos, que permiten un importante desarrollo del sector turístico a su alrededor.

Por lo general, con la construcción de una presa no se persigue uno solo de estos fines, sino combinar varios de ellos a fin de aumentar su rentabilidad. En la actualidad se tiende a la construcción de complejos de presas, de manera que sus funciones estén equilibradas entre sí y satisfagan al máximo las necesidades, tanto energéticas y de abastecimiento de agua como de regulación del curso del río.

A nivel mundial destacan las presas de: Owen Falls (Uganda), sobre el río Nilo, que embalsa 225.000 millones de metros cúbicos; Victoria, que embalsa 205.000 millones de metros cúbicos; Bratsk (URSS), sobre el Angara, con 169.000 millones de metros cúbicos; Asuán (Egipto), sobre el Nilo, que embalsa 164.000 millones de metros cúbicos; Hoover (EE UU), sobre el río Colorado, con una capacidad de 38.000 millones de metros cúbicos.



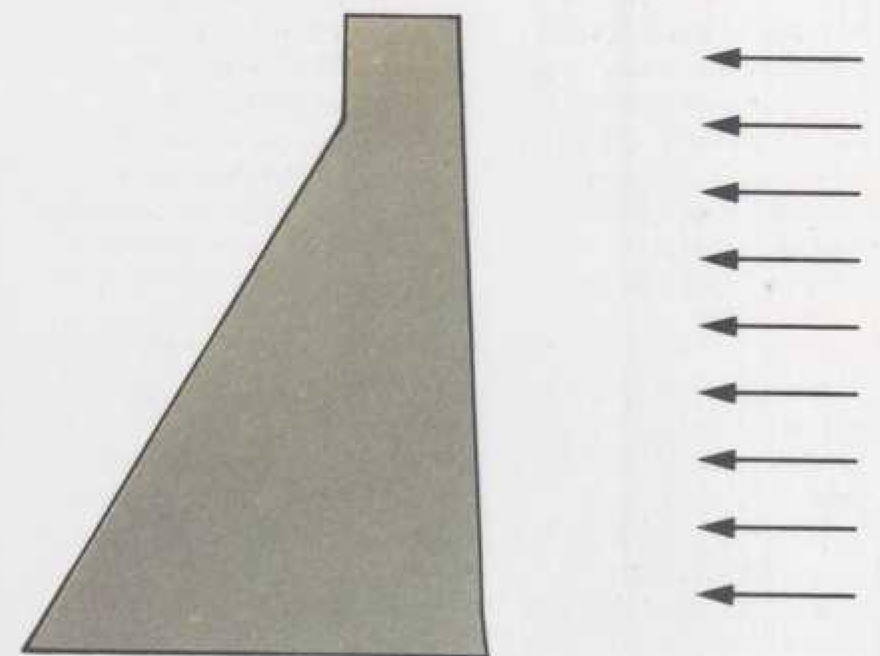
A la izquierda se muestra la sección de un valle donde se ha de construir una presa. El estudio geológico del terreno es de vital importancia a efectos de asegurar la futura estabilidad de la construcción. En este caso, el estudio geológico ha permitido conocer a qué profundidad se encuentra un estrato de roca con la dureza suficiente como para soportar el lecho de hormigón que se extenderá sobre la base. No sólo se removerá el terreno superficial, sino también el material de aluvión que cubre el surco central.

Historia La primera presa de la historia de la que tenemos referencias era una estructura de 15 metros en forma de muro que fue levantada sobre las aguas del Nilo en el año 2900 a. de C. aproximadamente. Fue construida con la finalidad de abastecer de agua a la, por entonces, capital, Menfis. Otras civilizaciones de la antigüedad (en particular asirios, babilonios, persas, indios, chinos y japoneses) también se sirvieron de estas construcciones para disponer de agua potable o para regadío. En el siglo VI d. de C., parece ser que los bizantinos descubrieron las ventajas de construir un nuevo tipo de presa en la que una de sus caras estaba curvada, práctica aún hoy utilizada en las presas en arco.

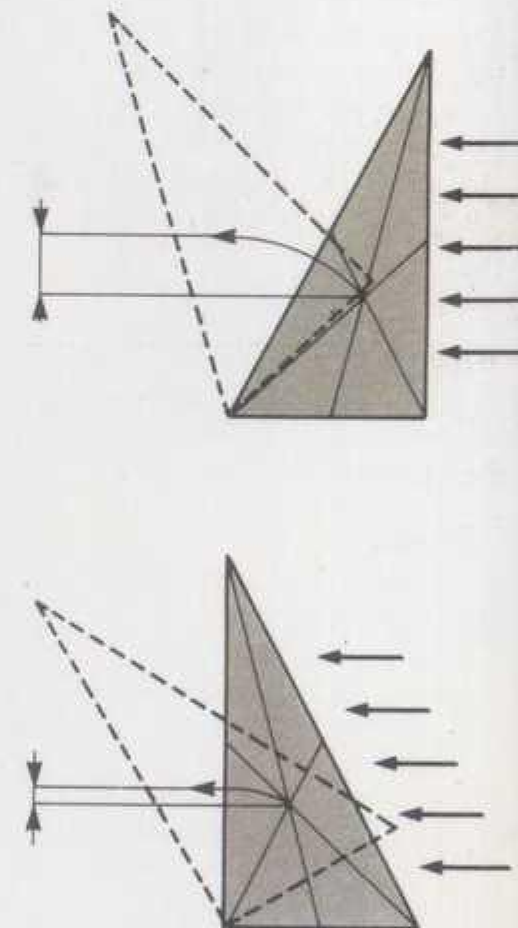
En un principio, la construcción de una presa era resultado de un proceso de intuición individual, más que de una elaboración de cálculos de ingeniería; pero a mediados del siglo XIX, el avance experimentado por la Física y otras ciencias permitieron un estudio sistemático de los innumerables problemas inherentes a dichas construcciones, encontrando solución a gran parte de ellos.

Durante el siglo XVIII las investigaciones en este campo de la construcción se habían concentrado sobre dos factores fundamentales, de los que depende la resistencia de la presa frente al agua: el peso y la pendiente o inclinación. A principios del siglo XIX, y ya con una sólida base teórica y experimental, se evidenció que la construcción de una buena presa no dependía solamente de la simple consideración de sus dimensiones: era necesario entender la estructura en función de su dinámica interna, donde la solidez de cada punto está íntimamente ligada a la de los demás.

En la década 1850/60, los proyectos de W. M. J. Rankine, profesor de Ingeniería civil en la Universidad de Glasgow, demostraron hasta qué punto las nociones teóricas podían ayudar al ingeniero. Sus estudios sobre la estabilidad de los diversos terrenos y suelos confirmaron la posibilidad de construir presas de mayor tamaño y resistencia. El éxito de sus investigaciones sirvió de acicate a muchos otros que, como él, hicieron avanzar y prosperar la ingeniería civil.





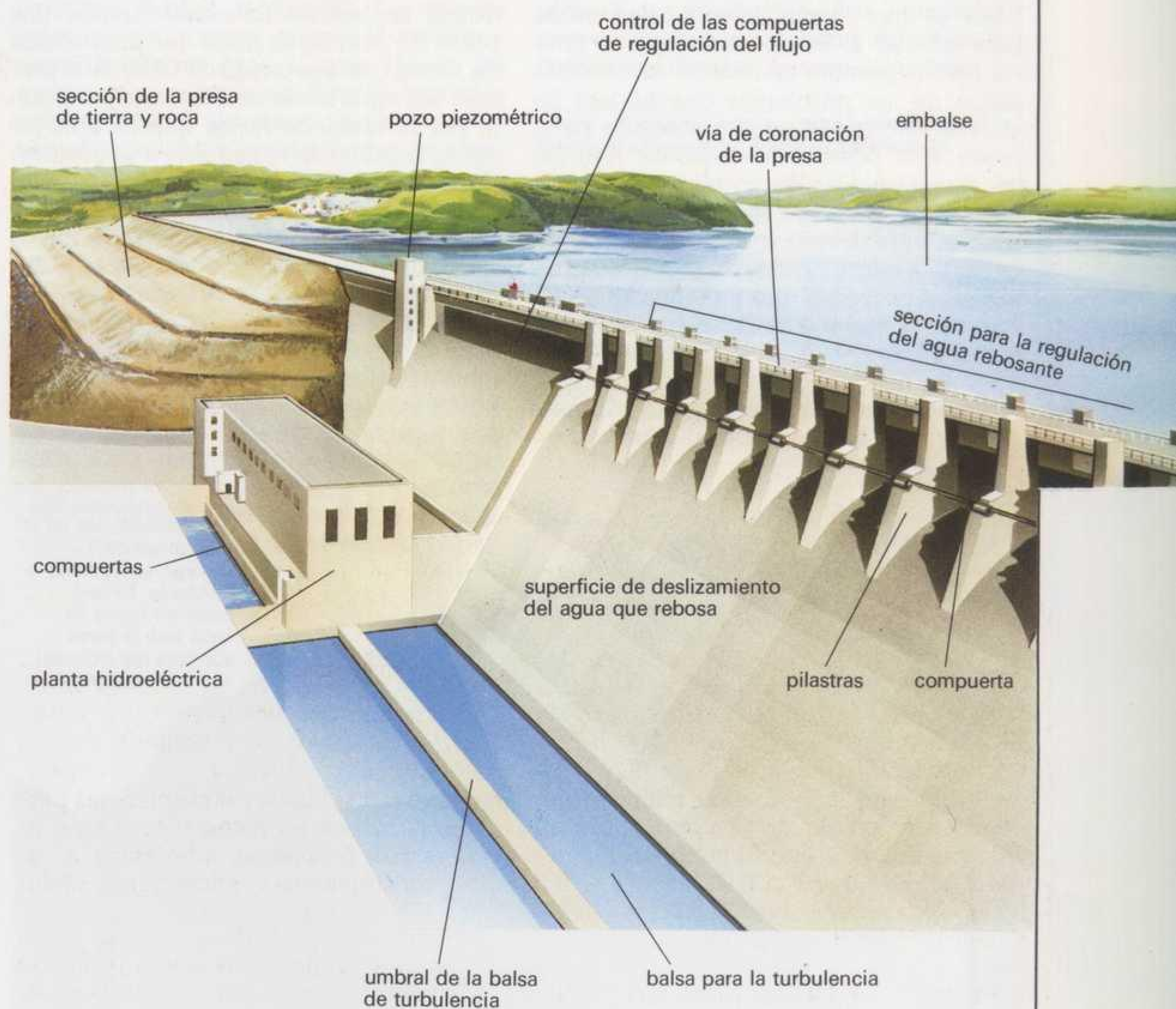


A la derecha, sección triangular de una presa de gravedad. Como puede observarse, el triángulo es rectángulo y el agua está en el lado de uno de los catetos. Con esta disposición, si el empuje del agua fuera suficiente como para levantar la presa, esta última ejercería mayor resistencia, pues el baricentro tendría que elevarse notablemente. En el dibujo inferior podemos ver la pequeña elevación que sufriría el baricentro si el agua estuviese en el lado de la hipotenusa. A la izquierda, panorámica de la presa de Asuán, construida sobre el río Nilo.

Proyecto y construcción Las presas modernas pueden clasificarse dentro de dos tipos principales: las construidas en hormigón y las construidas con materiales sueltos. Las presas de muro de hormigón suelen utilizarse generalmente para bloquear y almacenar el agua de ríos con cauce estrecho, que normalmente discurren en terrenos montañosos: el hormigón permite que estas presas puedan alcanzar gran altura en su construcción, a veces con muy poco material. Las presas de materiales sueltos, por su parte, son las más apropiadas para ríos de cauce ancho, los cuales necesitan *barreras de contención* muy grandes.

Para determinar con seguridad el tipo de presa que mejor se adapta a un lugar determinado es imprescindible realizar previamente un estudio muy pormenorizado, desde el punto de vista geológico y de la ingeniería, del terreno sobre el que se pretende emplazar la presa.

El primer factor que debe tenerse en cuenta a la hora de emprender el proyecto de construcción de una presa consiste en el estudio geológico del terreno sobre el que ésta va a asentarse. Factores como la solidez, la permeabilidad, las tensiones existentes y la presencia de sustancias químicas que puedan dañar el basamento deben ser examinados con absoluta rigurosidad. También deben construirse modelos a escala o maquetas, con el objeto de simular las tensiones reales a las que



Arriba, a la derecha, se muestra una presa de gravedad con la que se ha cerrado un valle, dando lugar a un gran embalse. Entre las muchas finalidades que se persiguen al construir una presa figuran la de disponer de agua para el regadío y la de la cría y conservación de diversas especies de peces. Muchas presas cuentan con canales especiales por donde pueden deslizarse los troncos de árboles, camino de los aserraderos, así como con un sistema de piscinas en escalera que permite el remonte de especies migratorias, como el salmón.





Sobre estas líneas, el dique holandés de Haringvliet. A diferencia de casi todos los otros diques, generalmente construidos con tierra, éste es de hormigón. Otra particularidad de este dique estriba en su movilidad y en el hecho de haber sido construido en el marco del Plan Delta. Este plan ha permitido un mayor control de las aguas de los ríos Rhin, Mosa y Escalda, así como la desalinización de los terrenos agrícolas de la zona. En el pequeño mapa se muestra de forma esquemática la red de diques que conforman el Plan Delta.

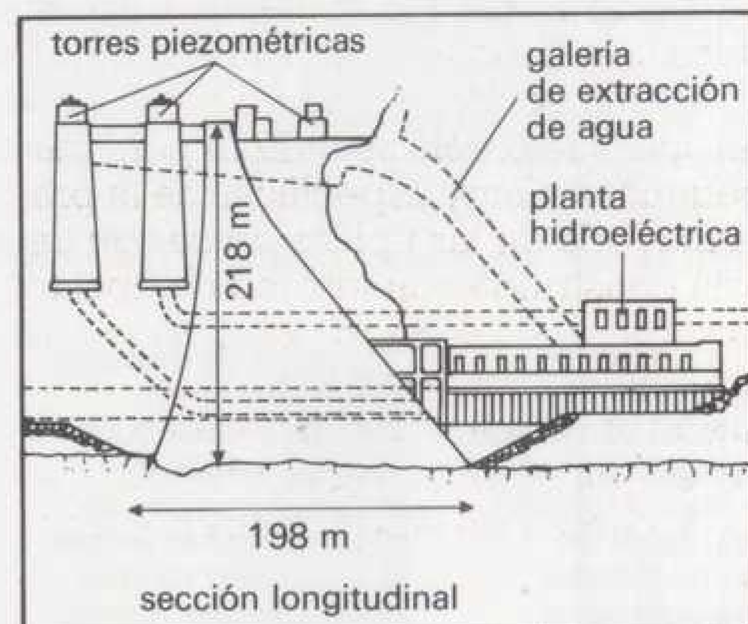
la futura presa se verá sometida. Durante los años treinta se utilizó material de goma para la fabricación de las maquetas del proyecto de la presa Hoover; en la actualidad, el tipo de maquetas que se utiliza para simular el comportamiento de futuras presas permite un análisis mucho más eficaz de los problemas que se han de afrontar, incluso el de la resistencia de la presa ante posibles terremotos. Aunque las características de un terremoto en un lugar específico son difícilmente previsibles, el ingeniero investigador puede simular una cierta cantidad de sacudidas telúricas y prever el tipo y magnitud de las consecuencias que tendrían lugar sobre la construcción.

Presas en muro de hormigón Aunque el hormigón sea un material con gran resistencia a la compresión y capaz de permitir la elevación de altas estructuras, presenta sin embargo poca resistencia a la tracción, lo que significa que puede destruirse fácilmente. En consecuencia, una presa de hormigón debe ser proyectada de forma que sea capaz de desviar la presión del agua hacia su base, más resistente por lo tanto, de forma que se aproveche al máximo su resistencia a la compresión; es decir, la estructura debe ser diseñada de modo que consiga bloquear el agua evitando que se generen esfuerzos de flexión ya que, de no ser así, la presa se resquebrajaría y se vendría abajo.

Las presas de hormigón pueden ser rectas o con forma de arco. Las del primer tipo suelen ser las más eficaces para construcciones en el interior de grandes valles. Resisten el empuje del agua gracias a su propio peso. A cualquier altura, el empuje del agua es desviado hacia la base de la presa, donde tiene lugar, por tanto, la mayor compresión; por este motivo, este tipo de presas recibe también el nombre de *presas de gravedad*. Generalmente, el hormigón es reforzado con acero que, además de aumentar su resistencia, reduce el coste. Las presas en arco tienen el muro de contención curvado, de forma que el lado convexo de la curvatura está en dirección al agua; con este sistema, el empuje que ésta ejerce sobre el muro de la presa es desviado hacia las laderas del valle o, en caso de que éstas no sean suficientemente sólidas, hacia diques laterales de hormigón, colocados a propósito en los flancos del embalse. Este tipo de presa resulta ideal para valles profundos con paredes rocosas compactas.

longitud de la coronación 373 m
torres piezométricas
218 m
profundidad máxima 176,7 m
planta hidroeléctrica
galería de 9 m de diámetro
conducciones de acero de 3,9 metros de diámetro
válvula con compuerta de 15 × 10,5 metros
6 válvulas de descarga inferior en aguja
galería de suministro de agua a la red de regadío de Arizona, de 15 metros de diámetro y 689 metros de longitud

En estas páginas, dos representaciones de la gran presa de Hoover, sobre el río Colorado. Es una presa en forma de arco, con la parte convexa del lado del agua. En el dibujo se puede apreciar cómo la central hidroeléctrica se encuentra fuera de la presa, inmediatamente tras ésta. Una vez fuera de la central, el agua es devuelta a su cauce. Un sistema muy elaborado de conducciones internas permite el desagüe directo de agua en el río, con el fin de aliviar la presión en la presa. Este sistema se regula mediante compuertas.



En la página siguiente, presa de gravedad en arco que cierra un estrecho valle alpino. Este tipo de presas es el más idóneo para el embalse de agua en valles estrechos y a altas cotas. En las partes altas de las cadenas montañosas las precipitaciones de agua y nieve son muy superiores a las de los valles, lo que da sentido a la construcción de estas presas en puntos muy elevados. Incluso en invierno, y bajo una gruesa capa de hielo, el agua permanece embalsada y garantiza la alimentación de las instalaciones hidroeléctricas.
A veces, el agua que baja del embalse puede canalizarse a lo largo de los flancos del valle, hasta que desciende lo bastante como para disponer de un salto de agua lo suficientemente elevado como para generar un alto potencial de energía eléctrica. En determinados casos, el agua puede volver a utilizarse en un segundo salto. Sin embargo, en los países más desarrollados, las modernas fuentes de energía han convertido en obsoletas las tradicionales estaciones hidroeléctricas. Estas han dejado de ser fuentes primarias de energía, salvo en el caso de ríos de gran →

Presas de tierra Las presas de tierra, construidas con roca, tierra y otros elementos sueltos, al igual que las presas de gravedad en hormigón, desvían la presión del agua hacia la base inferior más resistente. Las primeras presas de tierra eran muy simples, construidas en su totalidad con tierra. Sin embargo, y a diferencia del hormigón, la tierra es un material poco impermeable, por lo que los diques en terraplén solían derrumbarse fácilmente. A fin de evitar la infiltración del agua que pudiera poner en peligro la presa, se procedió a la división de ésta en distintas capas, cada una de las cuales estaba formada por distintos materiales (tierra, rocas, arcilla). Unos "telones filtrantes" situados entre las diversas capas de material evitan que las partículas más finas de cada una pasen a los huecos de las contiguas.

Si la base sobre la que descansa la presa es también permeable, la construcción puede extenderse en profundidad sobre el cauce fluvial. Por lo general es muy difícil eliminar completamente la infiltración de agua a través del muro de la presa y lo único que se puede hacer es controlarla mediante la instalación de válvulas o compuertas de descarga en el interior de ésta. Debido a que los materiales impermeables, como las arcillas, son menos resistentes a la acción del agua que la roca o el propio suelo, sólo se utilizan para partes pequeñas y muy específicas de la presa. La mayoría de las típicas *presas de tierra* está construida con terreno compacto, arena o fragmentos de roca; las partes de la presa más proclives a la erosión, como la pared curvada hacia arriba y en contacto con el agua, suelen recubrirse con pedazos de piedra sin labrar, bien acoplados entre sí.

Estructuras auxiliares En 1960, en las proximidades de Brasilia, una presa de tierra, parcialmente acabada, se desbordó como consecuencia de la violencia de las aguas; éstas habían sufrido una repentina crecida, motivada por la caída de unas lluvias torrenciales. Como consecuencia de este desastre, 50.000 personas perdieron sus hogares. Con el fin de evitar este tipo de accidentes, las presas suelen disponer de un tipo de estructuras especiales, llamadas *aliviaderos*, que actúan como desagües, es decir, como canales o conductos por donde sale el agua una vez alcanzado un determinado nivel máximo de embalse. Un desagüe eficaz debe funcionar automáticamente y distribuir el exceso de agua sin producir daños en las zonas y campos aguas abajo de la presa.

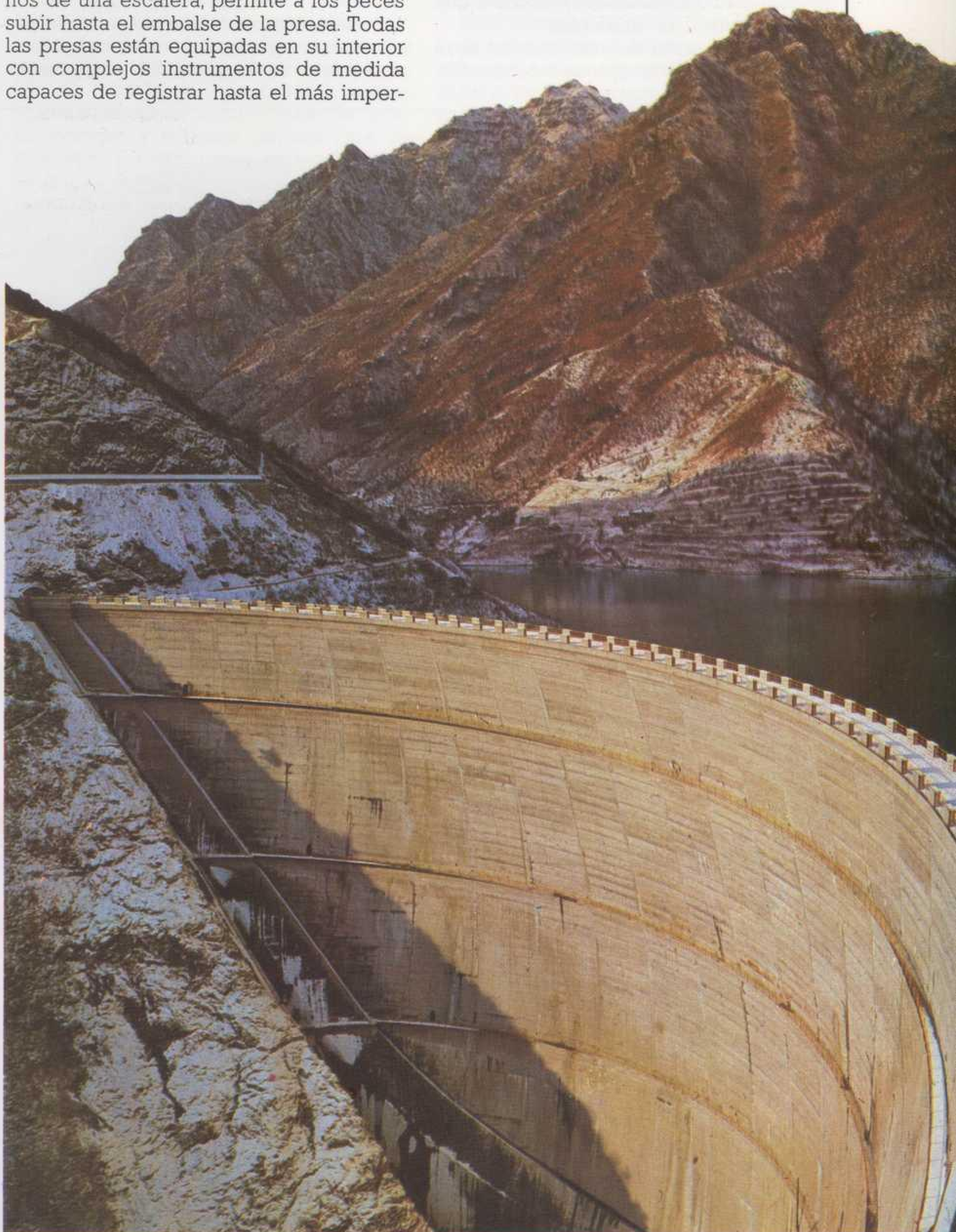
En las presas de tierra, por lo general, se construye un pozo o una galería en los laterales de la misma; en las presas de gravedad y de hormigón, el talud aguas abajo hace las funciones de aliviadero; en las de rebose, el agua en exceso pasa por encima de su coronamiento. En cualquier caso, los aliviaderos cambian la dirección del agua, disipando su energía en una gran e inocua turbulencia bajo la presa, en un lugar del valle seguro y controlado.

Generalmente, las presas están dotadas de un sistema de compuertas situado en su interior, que permite sacar del embalse la cantidad de agua necesaria para el consumo y para el regadío. La energía eléctrica se produce gracias al salto que experimenta el agua al caer desde las compuertas: el agua es dirigida hacia las palas o hélices de una turbina donde la energía mecánica se transforma en energía eléctrica mediante un sistema de generadores.

El sistema de barreras y piscinas de agua escalonadas permite que los peces migratorios, como el salmón, remonten el cauce del río y superen el obstáculo que presupone la presa. En la presa escocesa de Pitlochry, por ejemplo, una serie de piscinas de agua, dispuestas como peldaños de una escalera, permite a los peces subir hasta el embalse de la presa. Todas las presas están equipadas en su interior con complejos instrumentos de medida capaces de registrar hasta el más imperceptible de los movimientos, las variaciones de temperatura o de presión y los peligros, más o menos inminentes; estos datos serán de gran utilidad en los futuros proyectos, permitiendo a los ingenieros y proyectistas la posibilidad de encontrar defectos y diseñar nuevas soluciones.

Véase **Energía eléctrica, producción de; Hormigón; Ingeniería; Regadío, sistemas de**

→ caudal. La razón fundamental para la construcción de nuevas presas reside en la necesidad de almacenar gran cantidad de agua en previsión de épocas de sequía. En los países donde la fuente de energía principal es la nuclear o la del petróleo, las presas permiten el almacenamiento de agua, incluso mediante sistemas de bombeo, lo que constituye un importante recurso energético ante situaciones inesperadas.



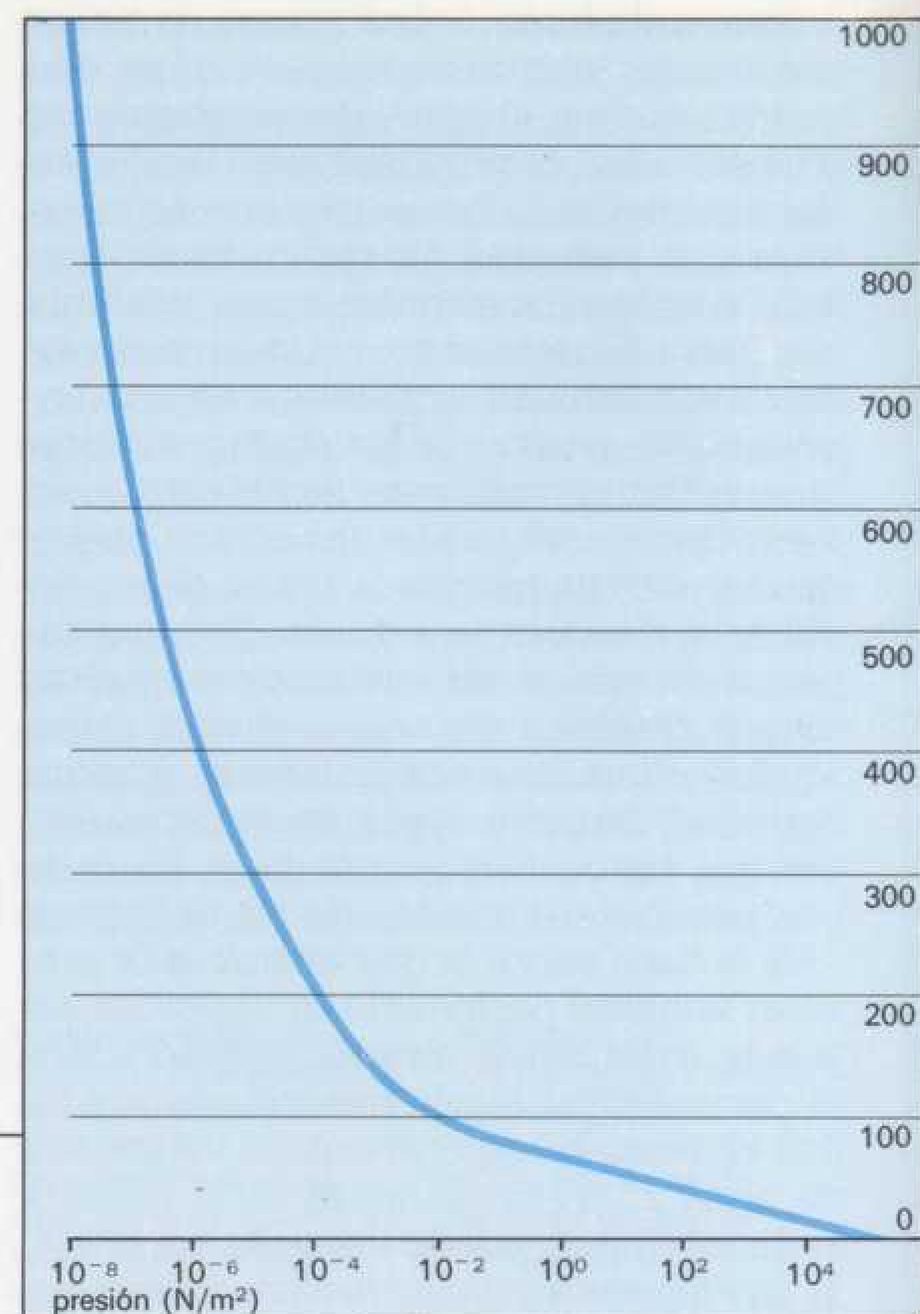
Presión

Si nos fijamos en el mundo que nos rodea, vemos que está gobernado por la acción que los campos de fuerza ejercen sobre todos los objetos y sobre nosotros mismos. Los efectos de dichos campos de fuerza dependen considerablemente de la mayor o menor superficie donde se ejerzan o donde actúen; así, al caminar sobre nieve, vemos que ésta se hunde bajo nuestras pisadas debido a nuestro peso, dificultando la marcha; pero si, por el contrario, nos ponemos unos esquís o unas raquetas en los pies, la marcha es mucho más fácil y no nos hundimos, aunque nuestro peso es el mismo: lo que ha cambiado es la superficie sobre la que actúa, que en el primer caso son nuestros pies, y, en el segundo, es la superficie de los esquís o de las raquetas, que, al ser casi diez veces superior, permite que nos deslicemos sin hundirnos.

La comprensión de esta realidad lleva a la definición de un nuevo concepto físico: la presión. La *presión* se define como la fuerza ejercida o aplicada por unidad de superficie, y tiene una importancia fundamental para la explicación de múltiples procesos físicos.

Atendiendo a su definición, varias son las unidades que se utilizan para medir la presión, siendo las más utilizadas: la *atmósfera física* o simplemente *atmósfera*, equivalente a la presión al nivel del mar de una columna de mercurio de 760 mm de altura y 1 mm^2 de sección; el *torr*, que es la presión de 1 mm de mercurio en esas mismas condiciones; y el *milibar*, usado en meteorología y definido como la presión ejercida por una fuerza de 1.000 dinas sobre 1 cm^2 de superficie. Una atmósfera equivale a 760 torr, a 1013,3 milibares, y a 1,033 kg por cm^2 de superficie.

Presión atmosférica terrestre Los gases que componen la atmósfera ejercen, por acción de la gravedad, una presión



Atendiendo a la definición de presión como la fuerza que se ejerce sobre la unidad de superficie, dependiendo de las unidades en que se mida la fuerza, se tienen diversas unidades de presión. Si la fuerza viene expresada en Newton y la superficie en m^2, la presión vendrá dada en N/m^2. El gráfico superior nos da la variación de la presión con la altura, medida en dicha unidad, desde el nivel del mar hasta los 1.000 km de altitud. A la izquierda, la distribución de la presión atmosférica en los meses de Enero y Julio. Para medir la presión atmosférica, se utiliza un tubo en forma de U que contiene mercurio (Hg). La altura que alcanza el Hg en el tubo proporciona, precisamente, el valor de la presión atmosférica. Hay que considerar la temperatura, ya que influye en la densidad del mercurio, y la intensidad del campo gravitatorio. La parte superior del tubo está cerrada y en ella se produce el llamado vacío de Torricelli, término que se refiere a la extremadamente baja presión del mercurio, despreciable a temperatura ambiente si la comparamos con la presión del aire.

considerable sobre todos los cuerpos situados en la superficie de la Tierra. En 1643, E. Torricelli ponía de manifiesto, por primera vez, el peso del aire que se encuentra sobre nosotros, y calculó la presión que dicha masa de aire ejerce sobre todos los cuerpos. Para ello, utilizó un dispositivo que ahora conocemos con el nombre de *barómetro*, consistente en un tubo lleno de mercurio de 1 metro de longitud y abierto por uno de sus extremos, de manera que el extremo abierto lo introdujo en una cubeta que contenía también mercurio y abierta a la superficie. Conociendo la densidad del mercurio y la altura que alcanza la columna en el tubo, calculó que la presión que la atmósfera ejerce sobre la superficie es ligeramente superior a 1 kg por cm^2.

Esta fuerte presión que se ejerce sobre los cuerpos es contrarrestada por una "contrapresión interna", que permite que los cuerpos mantengan su cohesión y forma. De no ser así, si esta presión interna de los cuerpos fuese menor que la presión exterior que actúa sobre ellos, estos cuerpos se aplastarían bajo sus efectos; y si, por el contrario, la presión interna fuese superior a la atmosférica, los cuerpos se irían expandiendo hasta que se igualase con ella, o explotarían.

Vemos, por tanto, que la presión atmosférica es el peso de la columna de aire que tenemos sobre nosotros, por lo que al ganar altura dicha columna de aire disminuye y, en consecuencia, también disminuye la presión (ésta disminuye más rápidamente en las capas bajas y más lentamente en las altas), de manera que al alcanzar aproximadamente 5.500 metros de altura su valor es igual a la mitad de la presión al nivel del mar.

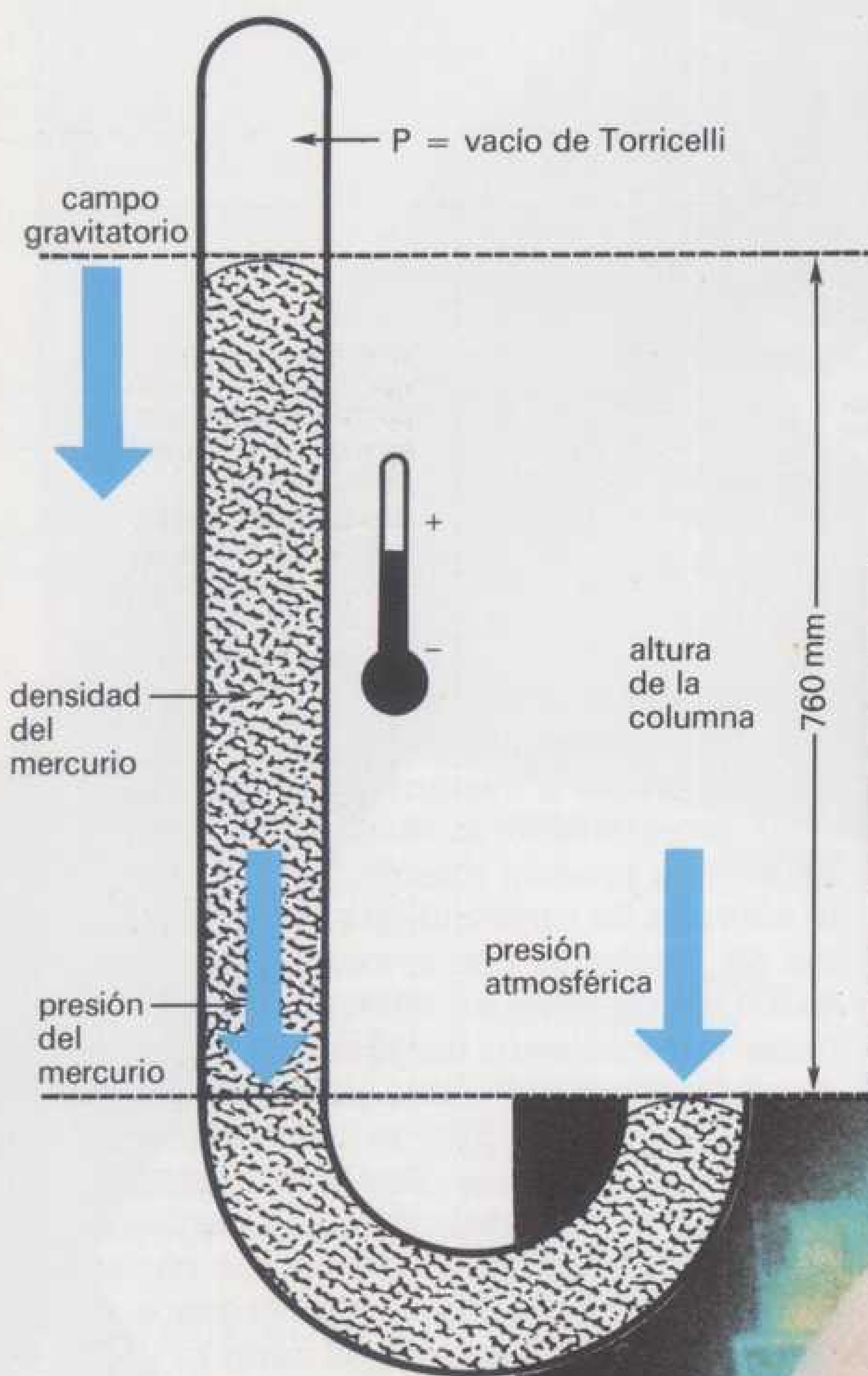
El cuerpo humano puede soportar estos cambios de presión, pero tiene que realizar esfuerzos para poder equilibrarlos con su propia presión. Por ello, si el cambio de presión es muy brusco, pueden aparecer síntomas, como dolores de cabeza, vértigos y malestar general (*mal de montaña*). Estos síntomas suelen agravarse por el descenso de la presión parcial del O_2 en el aire, con el consiguiente empobrecimiento del oxígeno en la sangre.

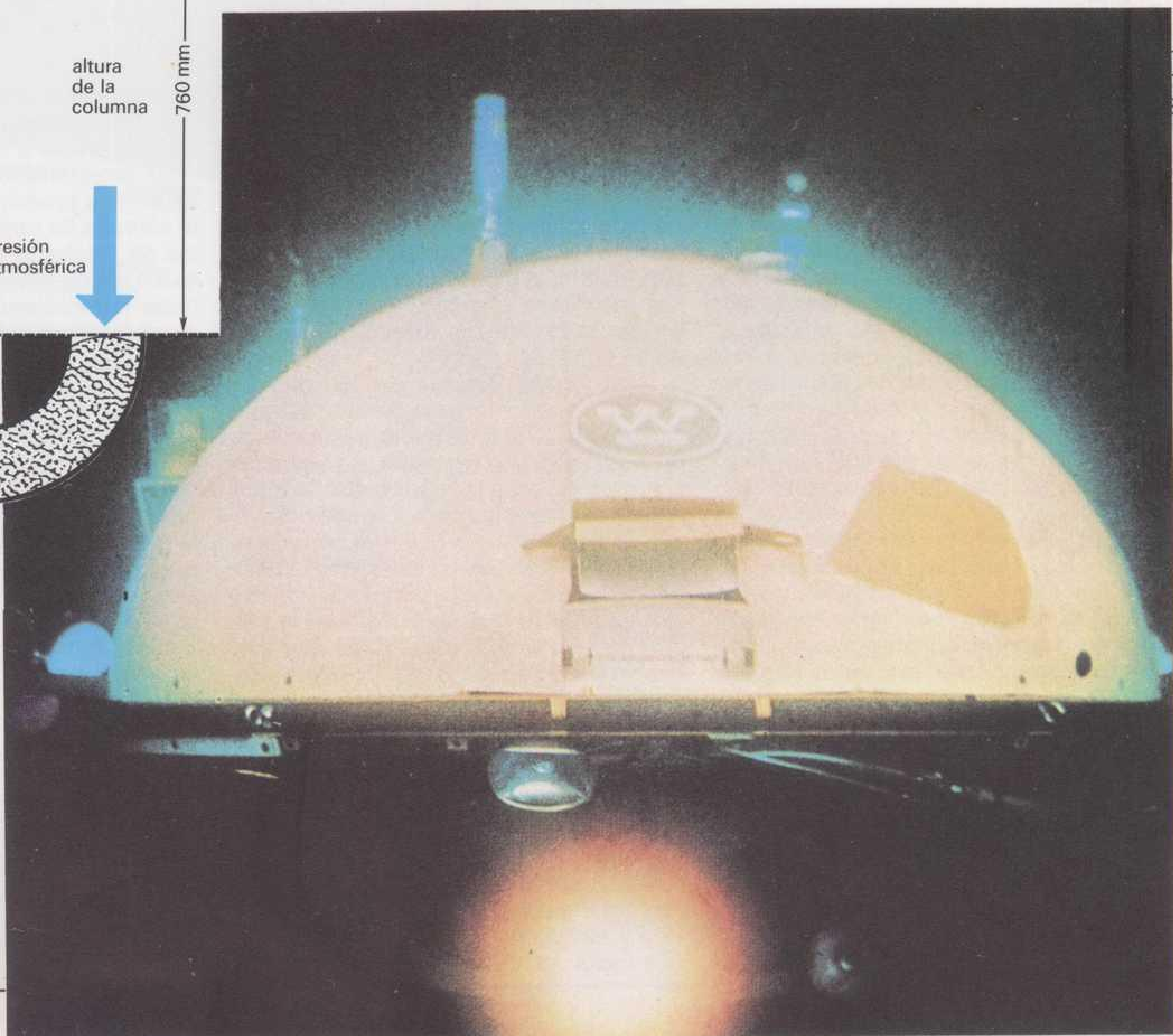
La presurización de la cabinas de los aviones tiene como objeto precisamente evitar estos peligros al pasaje y a la tripulación.

Del mismo modo, si buceamos a una cierta profundidad tendremos sobre nosotros actuando el peso de toda el agua que nos cubre, y con toda seguridad sufriremos dolor de oídos, debido a la presión extra que debe soportar el tímpano.

Las variaciones de la presión atmosférica en sentido horizontal están directamente relacionadas con la distribución de la radiación solar y con el diferente calentamiento zonal de la superficie terretre. Estas variaciones permiten comprender las condiciones meteorológicas y los distintos tipos de clima. Cuando se representan gráficamente en un mapa los valores de la presión y se trazan las isobaras (líneas que unen puntos de igual presión) se obtiene una imagen del campo de presiones en el que se individualizan dos figuras isobáricas fundamentales: anticiclones o *altas* y depresiones o *bajas*. En los anticiclones, la presión aumenta hacia el centro, mientras que en las depresiones o borrascas, disminuye. En este tipo de sistemas, cuanto menor sea la presión, mayor movilidad tienen sus moléculas, sus movimientos circulares aumentan, se "profundiza" la baja, y pueden llegarse a alcanzar valores tales que se produzcan ciclones e incluso tifones.

Véase **Barómetro; Ciclón tropical; Gas; Presión arterial; Tornado**





De la misma forma que la atmósfera ejerce una presión sobre la superficie terrestre, el agua del mar lo hace sobre las zonas sumergidas. Por ello es necesario construir máquinas capaces de soportar esa presión. A la derecha, un batiscafo, aparato que puede alcanzar los 20.000 pies de profundidad. Posee un brazo mecánico, capaz de tomar muestras del fondo marino. Esta máquina es utilizada para la exploración de los fondos oceánicos.

Presión arterial

Desde que el hombre observó que a través de una arteria cortada la sangre fluía mediante fuertes pulsaciones, se supo que ésta ejercía una determinada presión sobre las paredes internas de las arterias y venas. Sin embargo, hasta 1856 los médicos no fueron capaces de medir dicha presión: para ello utilizaron un método bastante cruento, consistente en insertar directamente un tubo en la arteria (la sangre fluía así a través de un aparato que detectaba y medía su presión).

Afortunadamente, pronto se inventó un método menos peligroso para determinar la presión sanguínea: el esfigmómetro, instrumento todavía hoy en uso.

La *presión* o *tensión sanguínea* es la fuerza ejercida por la sangre sobre las paredes vasculares. Cuando la mayoría de las personas hablan de presión sanguínea se refieren más concretamente a la *presión arterial*, es decir, la fuerza ejercida por la sangre sobre las paredes de las arterias. Las arterias son los vasos sanguíneos que transportan la sangre oxigenada desde el corazón al resto del organismo. Cada latido del corazón lanza la sangre hacia las arterias y éstas, dadas su propiedades elásticas, se expanden. Esta expansión, que coincide con el movimiento de sístole, da lugar al valor máximo de la presión sanguínea alcanzado en las arterias, que puede percibirse fácilmente en el latido del pulso. Entre dos latidos cardíacos consecutivos, las arterias se contraen elásticamente, produciéndose el momento en el que se alcanza el valor más bajo de la presión arterial, que coincide con el movimiento de diástole.

El esfigmómetro es un aparato que mide estos valores, sirviéndose de un manguito hinchable que va unido a una columna de mercurio, a un indicador digital o a un instrumento con cuadrante y manecilla. Cuando el manguito se coloca alrededor del brazo y es hinchado mediante una pera de goma, comprime la arteria hasta que ésta se cierra, bloqueando, por tanto, el flujo de sangre. Al desinflar el manguito, el flujo sanguíneo se restablece a medida que la presión del manguito va siendo menor que la arterial. La columna de mercurio indica el valor de esta presión que se denomina *presión sanguínea sistólica*. Si se continúa descendiendo aún más, la presión del manguito alcanzará un punto en el que ya no se modifica en absoluto el flujo sanguíneo, llegándose al mínimo valor de la presión arterial, que se denomina *presión sanguínea diastólica*. Estos dos valores de la presión sanguínea, conocidos como "máxima" y "mínima", indican la capacidad del sistema circulatorio de un paciente para transportar la sangre a los tejidos del organismo.

Las arterias son los puntos más importantes para determinar la presión sanguínea. Sin embargo, la presión en el interior de las arterias no es siempre igual que en el resto del sistema circulatorio. También las venas, las arterias pequeñas (llamadas arteriolas), las venas pequeñas (llamadas vénulas) y los capilares poseen una notable capacidad de expansión y de contracción en respuesta no sólo a las variaciones de la presión, sino también a los impulsos de las glándulas hormonales y del sistema nervioso, creando en consecuencia niveles propios de presión. Estos diferentes valores de la presión son también importantes, si bien la presión en las arterias constituye el principal método para estimar la eficacia del sistema circulatorio de un paciente.

Una presión sistólica de 120 mm de mercurio y diastólica de 80 mm de mercurio (120/80) son definidas habitualmente como normales. No existe, sin embargo, una presión "exacta" para todos: la edad, el sexo, el peso, la altura y la actividad física son factores que hay que considerar antes de poder decir si una persona tiene una presión sanguínea alta o baja. Por otro lado, la presión sanguínea varía en la misma persona según la actividad que esté desarrollando en un momento determinado. En consecuencia, es preciso realizar al menos tres determinaciones de la presión arterial antes de poder afirmar que se trata de un paciente hiper o hipotenso.

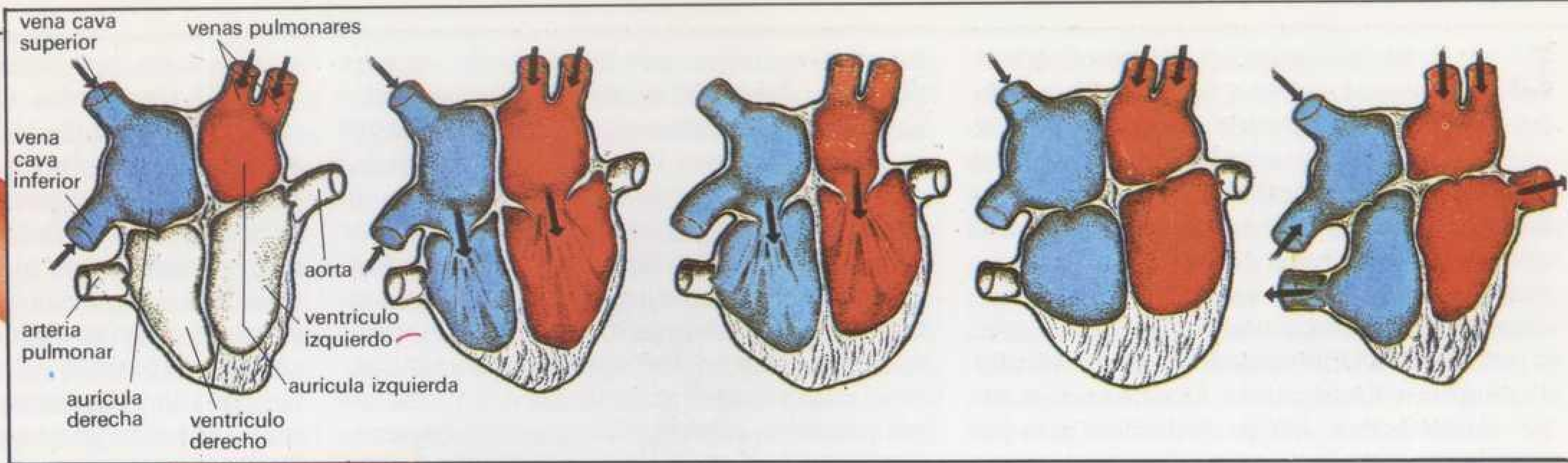
Muchas personas jóvenes tienen una presión sanguínea baja (hipotensión), si bien esto no se considera peligroso ni anormal. Los atletas profesionales tienen con frecuencia la presión increíblemente baja y ello no conlleva, sin embargo, ningún riesgo para su salud. Por el contrario, la presión alta, o hipertensión, es considerada más peligrosa, debido a que a menudo conduce a trastornos orgánicos.

La hipertensión se diagnostica cuando existe una presión diastólica crónicamente elevada. Es sorprendente cómo esta forma de patología, con la excepción de los casos más graves, no muestra ningún síntoma. Por ello se le denomina a veces "la asesina silenciosa". Tanto para el paciente como para el médico, el tratamiento de esta enfermedad es bastante frustrante, dado que, al no existir síntomas particulares de la hipertensión, el trastorno constituye una amenaza directa a los órganos vitales, como son el corazón, el cerebro y los riñones, que son lentamente dañados por la elevada presión. Sólo en raros casos la presión sanguínea es tan alta que representa un serio peligro y requiere tratamiento inmediato. En estos casos se trata de la hipertensión maligna que suele estar asociada a un dolor de cabeza martilleante localizado en la región de la nuca. Una vez diagnosticada, la presión sanguínea elevada puede descender con la ayuda de una serie de medidas terapéuticas que comprenden pérdida de peso, dieta pobre en sal, ejercicio físico y la administración de algunos medicamentos, como los diuréticos.

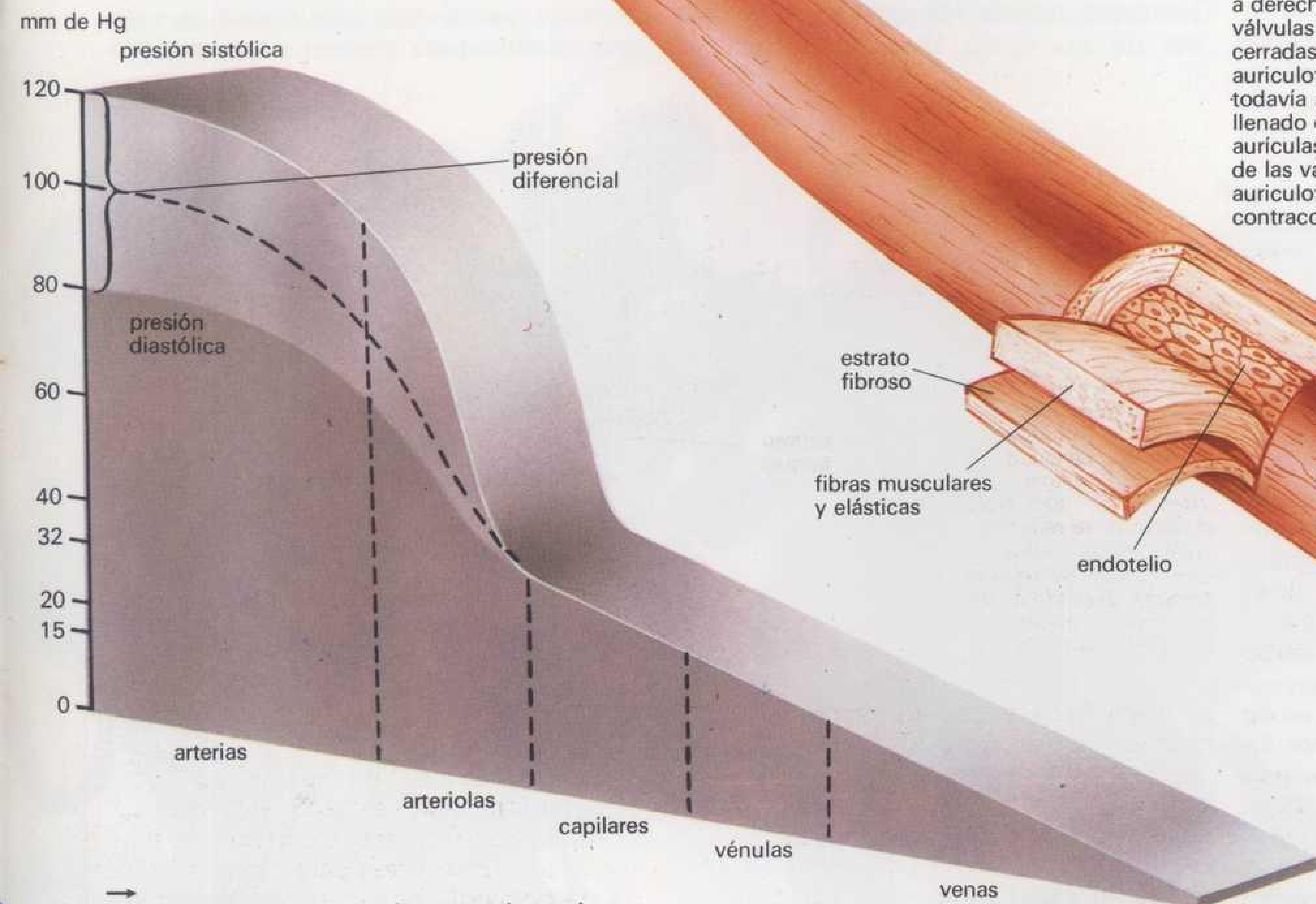


Gracias a las diferencias de presión existentes entre los vasos en los que la sangre es transportada cuando sale del corazón y los vasos por los que la sangre retorna al mismo, resulta posible la circulación a través del aparato cardiovascular. La presión más elevada se encuentra en la aorta, que es precisamente el primer vaso al que la contracción del ventrículo izquierdo impulsa la sangre: esta presión alcanza un valor medio de 120 mm de mercurio (sobre la presión atmosférica) cuando el músculo cardíaco se contrae (sístole) y desciende a 80 cuando el músculo se relaja (diástole). A medida que la sangre se aleja del corazón, pasando de las arterias a las arteriolas, capilares, vénulas y →

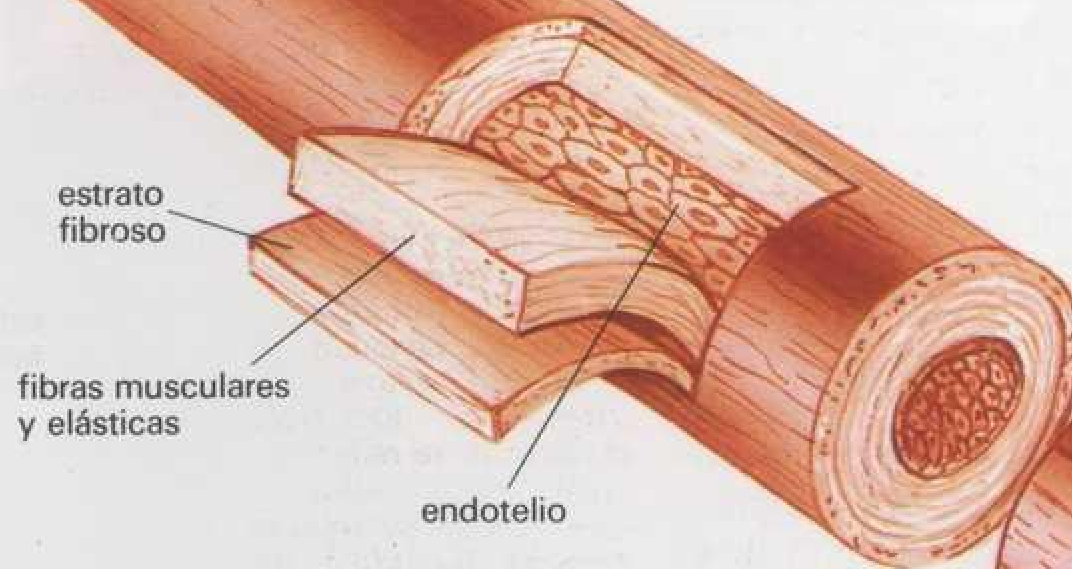
Véase **Circulatorio, sistema; Corazón; Sangre y grupos sanguíneos**



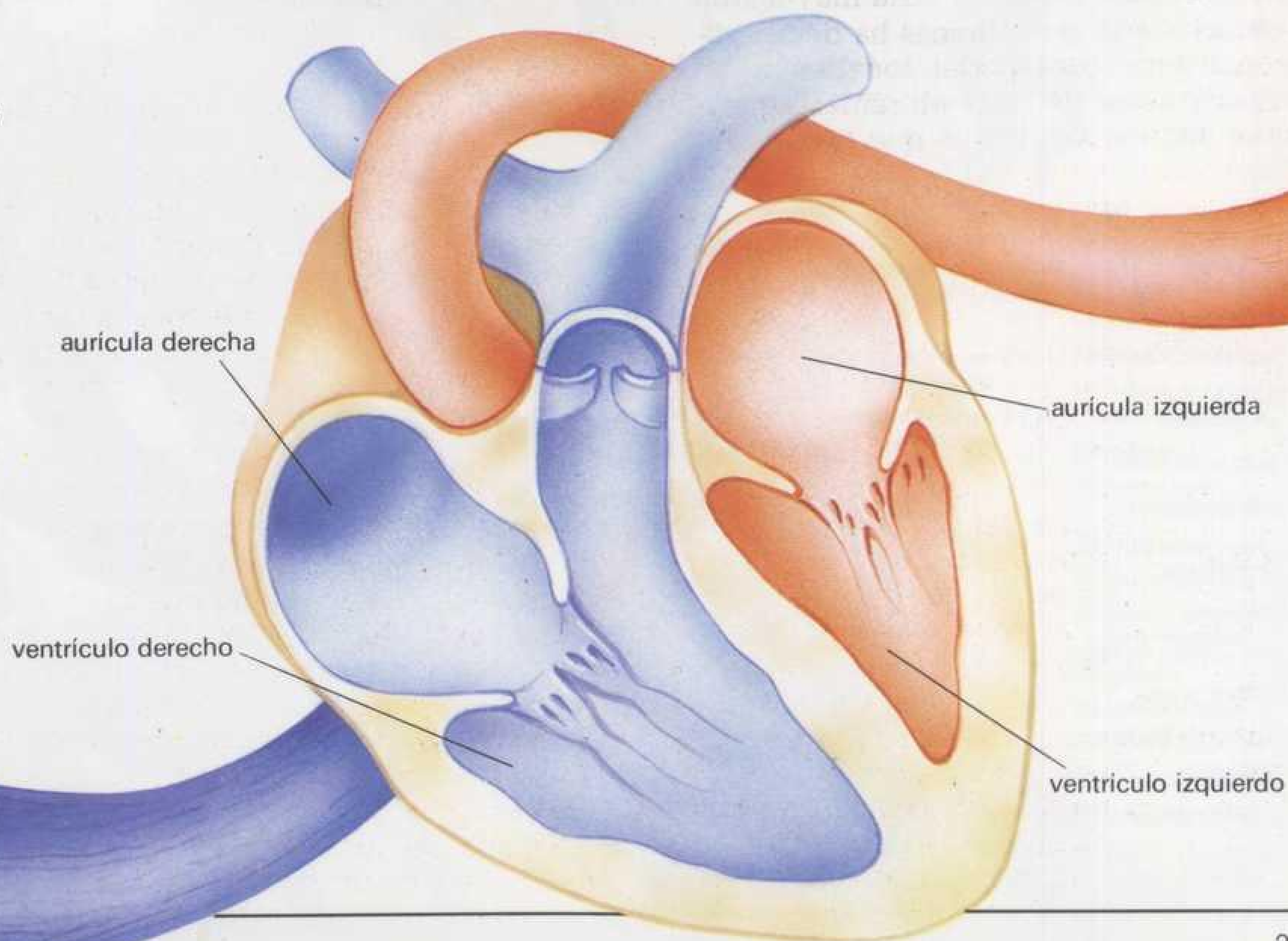
Arriba, esquema de un ciclo cardíaco completo. De izquierda a derecha: diástole, válvulas semilunares cerradas y válvulas auriculoventriculares todavía no abiertas; llenado de las aurículas y apertura de las válvulas auriculoventriculares; contracción de las aurículas y flujo de sangre hacia los ventrículos; incremento de la presión ventricular; apertura de las válvulas semilunares y paso de la sangre hacia la arteria pulmonar y hacia la aorta (sístole). Finaliza la sístole y vuelve a comenzar la diástole.



ESTRUCTURA DE UNA ARTERIA



→ venas, la presión disminuye progresivamente hasta que, en las grandes venas que llevan la sangre al corazón, la diferencia entre la presión sanguínea (presión venosa) y la atmosférica tiende a cero. Esto es visible en el diagrama superior, donde se muestra las variaciones de la presión en las distintas zonas del aparato circulatorio. La diferencia entre la presión sistólica y la presión diastólica constituye la presión diferencial o presión del pulso.



Primates

Los seres humanos, junto con los monos antropoides y los prosimios (lemures, etc.), constituyen un grupo de mamíferos altamente evolucionados al que se designa como orden de los Primates. Los primates se caracterizan por tener el cerebro muy desarrollado, los pies y las manos dotados de apéndices prensiles, capaces de agarrar con fuerza los objetos, y por tener un sistema de visión estereoscópica o tridimensional. Gracias a esa serie de atributos, los primates se pueden adaptar a entornos muy diversos, y son capaces de variar su comportamiento habitual con el fin de compensar sus limitaciones físicas.

Origen de los primates Según ciertos testimonios fósiles, los primates desarrollaron sus peculiares características durante los primeros pasos en la evolución de los mamíferos de sangre caliente, probablemente hace unos 70 millones de años, casi en los albores de la era Cenozoica. Se cree que el antecesor de los primates fue un pequeño insectívoro (mamífero que se alimentaba de insectos) sin una ubicación determinada. Algunos científicos piensan que los primates descienden de una *tupaya* primitiva, que tiene afinidades estructurales básicas con los actuales lemures. En cualquier caso, sabemos con certeza que los huesos de las extremidades de los primeros primates les hacían especialmente proclives a trepar a los árboles y a la vida arborícola. El motivo por el que estos animales terrestres se pudieron subir a los árboles puede haber sido una simple cuestión de supervivencia, ya que allí podían ponerse a salvo de los ataques de muchos depredadores. La mayoría de los primates actuales, a excepción del hombre, pasan gran parte de su vida en los árboles.

Características anatómicas El hecho de vivir la mayor parte del tiempo en los árboles requiere de una vista muy aguda y desarrollada, que además ha de ser estereoscópica para poder localizar a las presas y saltar de rama en rama. Los primates son los mamíferos que tienen mejor vista, aunque, por el contrario, su sentido del olfato está relativamente poco desarrollado. Mientras que la mayoría de los mamíferos tienen los ojos a ambos lados del hocico, las órbitas de los primates se dirigen hacia arriba, una junto a la otra, por encima de la nariz. Esto les permite superponer totalmente el campo visual de ambos ojos y conseguir una imagen tridimensional de su entorno. Los seres humanos, comparados con la mayor parte de los primates arborícolas, que son capaces de capturar hasta el más minúsculo insecto, tienen un sistema de visión bastante inferior. Los primates, además de tener la vista muy aguda, y una percepción increíblemente atinada, son capaces de coordinar de una forma asombrosa los movimientos de sus extremidades y de sus ojos. El desarrollo de sus extremidades constituye una de las razones principales de su éxito evolutivo. En efecto, todos los primates son capaces de coordinar el movimiento de sus dedos, y en cada una de sus extremidades el dedo pulgar está en posición opuesta a los demás, lo que les permite agarrar objetos y les convierte en seres adaptables y adaptados por excelencia a la vida arborícola. El pulgar oponible constituye una de las características fundamentales en que se basa el dominio del hombre sobre su ambiente, ya que le permite modelar y emplear utensilios. Los primates que viven en estado salvaje —como, por ejemplo, los babuínos— cogen piedras para golpear a los escorpio-



ARBOL GENEALOGICO SIMBOLICO DE LOS PRIMATES

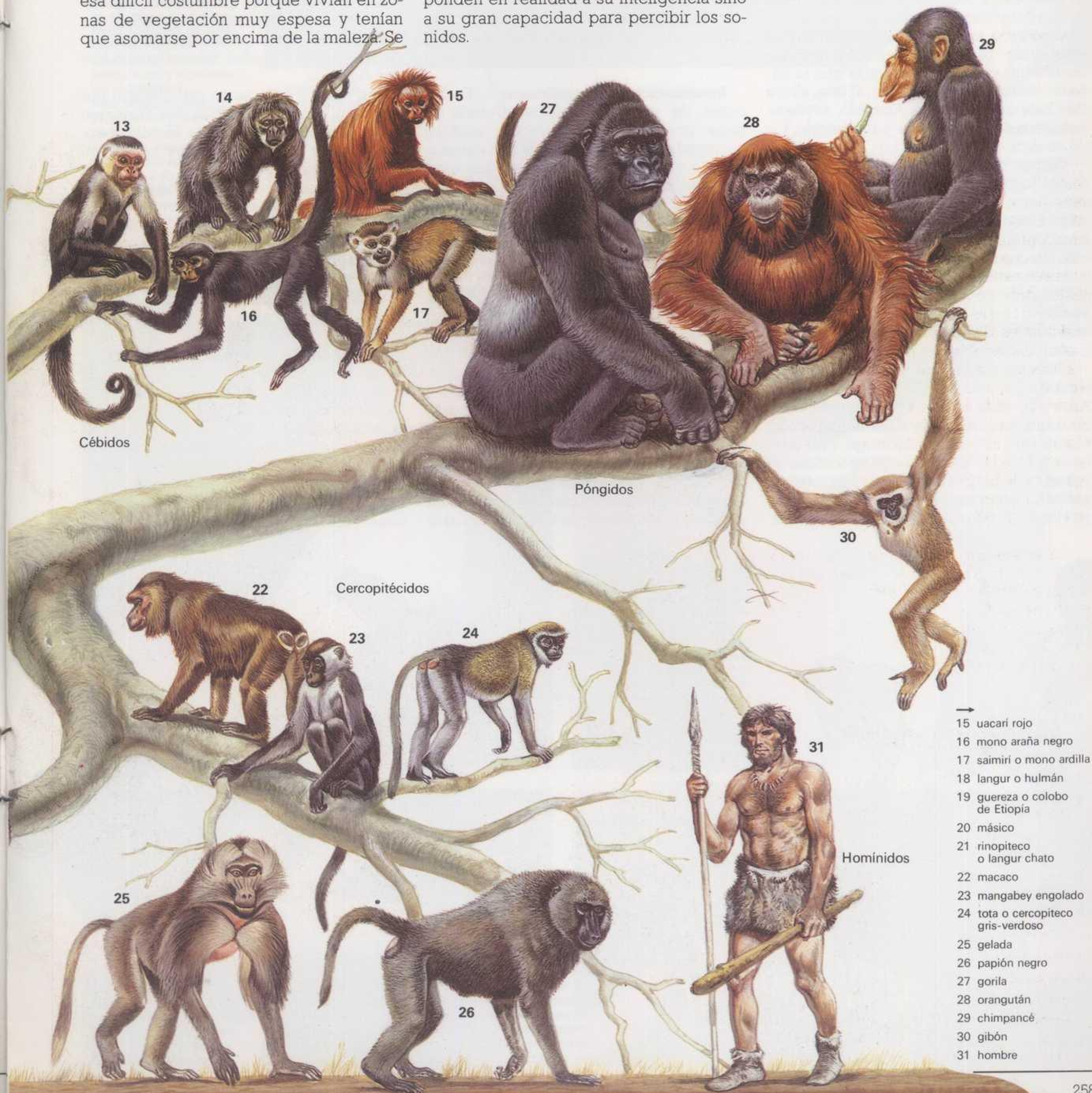
1 tupaya de Filipinas
2 tupaya de cola en penacho
3 polo o dormilón
4 gálago gigante
5 sifaca (o propiteco) de diadema
6 aye-aye
7 vari o lemur de collar
8 valuvoi o tana
9 tarsero de Borneo
10 tití común
11 pinché común
12 tití dorado o leoncito
13 capuchino o carita blanca
14 saqui monje o parahuacú →

nes y así quitarles sus aguijones venenosos. Los chimpancés usan las piedras para romper nueces. Algunos experimentos realizados con primates en cautividad demuestran que serían capaces de emplear muchos otros utensilios si tuvieran la posibilidad de aprender mediante la observación de las personas cuando lo usan. Las extremidades de los primates son muy robustas, y la mayoría de ellos son capaces de permanecer en posición erecta si es preciso, aun cuando sólo es el hombre quien permanece en esa posición de forma continua. Algunos antropólogos sostienen que los hombres adquirieron esa difícil costumbre porque vivían en zonas de vegetación muy espesa y tenían que asomarse por encima de la maleza. Se puede observar cómo ciertos primates de menor estatura se mantienen erguidos para descubrir la presencia de los depredadores.

La inteligencia de los primates El cerebro de los primates es el más complejo. La corteza cerebral, que es la parte del cerebro donde reside la memoria y la facultad del aprendizaje, es proporcionalmente mayor y tiene más pliegues que la del resto de los animales, a excepción del delfín; pero en el caso de este animal, los científicos consideran que el gran tamaño y la complejidad de su cerebro no corresponden en realidad a su inteligencia sino a su gran capacidad para percibir los sonidos.

Las hembras de los primates suelen parir una sola cría cada vez, y no suelen ser sexualmente receptivas hasta que no han criado a su hijo. El hecho de que las crías de los primates dependan de los cuidados maternos durante un período más prolongado que la mayor parte de los mamíferos puede haber contribuido al mayor desarrollo de su inteligencia, ya que disponen de más tiempo para aprender el comportamiento del grupo mediante la observación y la convivencia social.

Véase **Aprendizaje animal; Mamíferos**



→
15 uacarí rojo
16 mono araña negro
17 saimirí o mono ardilla
18 langur o hulmán
19 guereza o colobo de Etiopía
20 másico
21 rinopiteco o langur chato
22 macaco
23 mangabey engolado
24 tota o cercopiteco gris-verdoso
25 gelada
26 papión negro
27 gorila
28 orangután
29 chimpancé
30 gibón
31 hombre

Primeros auxilios

Definidos por la Cruz Roja como "los tratamientos inmediatos y provisionales en los casos de accidentes o enfermedad repentina antes de poder recibir la asistencia de un médico", los primeros auxilios han incrementado notablemente la posibilidad de salvar vidas humanas, ya que pueden ser llevados a cabo por cualquier persona que posea las elementales nociones necesarias o que actúe con un mínimo de buen sentido.

En caso de accidente se recomienda mantener al herido en posición tendida, tratar de cortar las posibles hemorragias y abstenerse de mover al accidentado si se cree que pueden existir fracturas. Las quemaduras deben ser recubiertas con algún tejido y las heridas de los ojos con compresas de gasa. Si la víctima está inconsciente, conviene colocarla con la cabeza reclinada hacia atrás, a una altura más baja que el tronco. Además, es necesario llamar rápidamente a un médico.

Víctima inconsciente Cuando la persona a socorrer se encuentra en estado inconsciente hay que actuar con gran cuidado. Debe colocarse al accidentado tumbado boca arriba, sosteniéndole la cabeza con una mano. Una persona inconsciente o semiinconsciente no debe ser nunca movida con brusquedad; tampoco deben administrársele líquidos para beber, ya que podrían penetrar en las vías respiratorias y causar ahogo.

Cuando una víctima inconsciente yace tendida, la relajación de los músculos hace que abra la boca y, en consecuencia, la lengua cae hacia atrás obstruyendo el paso del aire hacia la laringe. Para evitar la asfixia, el socorrista debe inclinar la cabeza del herido hacia atrás levantando el cuello para mantener libres las vías respiratorias. Si se comprueba que el paciente no respira, uno de los mejores métodos de reanimación es la respiración boca a boca.

La respiración boca a boca se realiza con la víctima colocada en la posición que acabamos de describir: el socorrista coloca una mano bajo el cuello y con la otra cierra los orificios nasales del sujeto y le insufla aire enérgicamente en la boca. A continuación, se retira permitiendo que salga el aire de los pulmones del paciente y comienza de nuevo. La frecuencia de insuflaciones debe ser de, aproximadamente, 12-15 por minuto. En los casos en los que se requiere además aplicar un masaje cardíaco externo, el ritmo debe ser de tres presiones sobre el corazón por cada insuflación de aire en la boca de la víctima.

Reanimación cardio-pulmonar En los casos de parada cardiorrespiratoria se debe practicar la respiración artificial acompañada de masaje cardíaco externo, para lo cual el socorrista tiene que ejercer presiones rítmicas sobre el esternón. Al mismo tiempo, la misma u otra persona debe insuflar rítmicamente aire en los pulmones de la víctima mediante la respiración boca a boca.

Asfixia por inmersión En caso de que el sujeto esté inconsciente, debe empezar a actuarse dentro del agua, se le abre la boca, asegurándonos de que no tiene ningún objeto extraño en su interior y tratando de mantener el mentón siempre levantado, mientras que con la otra mano se sostiene, por debajo, la espalda. De este modo se remolca al ahogado hasta la orilla donde, si el sujeto respira por sí mismo, deberá practicarse un drenaje del agua de los pulmones mediante profundas y amplias compresiones ejercidas de abajo hacia arriba en el dorso mientras yace boca abajo. En cambio, si el sujeto no respira se procederá inmediatamente a una respiración artificial boca a boca, realizando cada 30-60 segundos un breve intento de drenaje de agua.

Primeros auxilios en afecciones intestinales La apendicitis aguda es uno de los procesos abdominales más frecuentes. Se produce sobre todo entre los 5 y los 25 años de edad y después de los 55. Los síntomas más usuales son vómitos, estreñimiento, dolor abdominal y lasitud. Cuando el dolor es muy intenso, el paciente debe colocarse en una posición semiincorporada. La aplicación de una bolsa con hielo puede aliviar los dolores. No conviene administrar líquidos, salvo algunos sorbos de agua.

Los cólicos biliares se caracterizan por dolor en la parte superior del abdomen con irradiación a la espalda. El dolor puede aliviarse algo mediante la aplicación de bolsas de agua caliente.

En los casos de complicación aguda de una hernia es conveniente practicar una leve presión manual sobre la misma con el fin de hacerla entrar en el abdomen. Si esto no da resultado es necesario el traslado a un hospital.

Ante heridos abdominales de cualquier tipo deben colocarse compresas de gasa estériles y vendar todo el abdomen. Si hay eventración debe comprimirse sin apretar en exceso.

En todos los casos comentados debe llamarse a un médico o a una ambulancia inmediatamente y, en caso de que se hayan realizado, seguir las instrucciones recibidas en los cursos de primeros auxilios.

Véase **Reanimación**

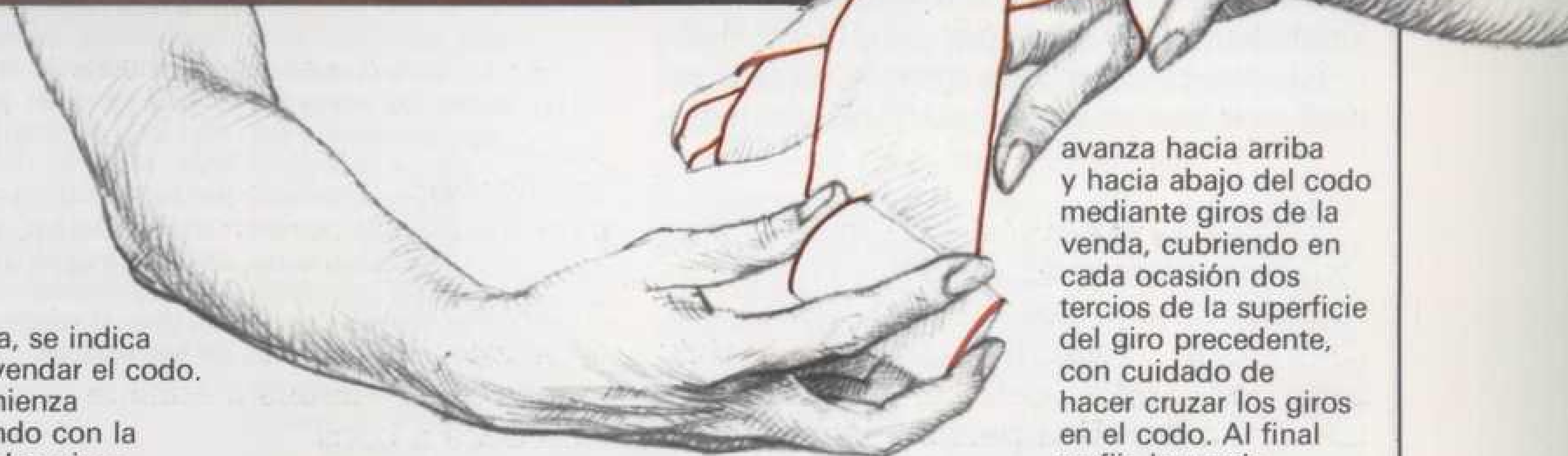
La extracción del automóvil de una víctima de un accidente de tráfico (a la izquierda) requiere un particular cuidado, dado que hay un riesgo de que exista una lesión vertebral. El socorrista sostendrá la cabeza de la víctima de manera que impida cualquier movimiento hacia delante o hacia atrás para no originar lesiones en la médula → espinal. Durante la extracción del habitáculo, el cuerpo de la víctima debe mantenerse siempre derecho. Se le tenderá un poco sobre un costado.



La respiración boca a boca (a la derecha) es una intervención muy eficaz y sencilla: se extiende la cabeza de la víctima y se le cierra la nariz, se apoya la boca abierta del socorrista sobre la de la víctima y se insufla aire con mucha fuerza; se inspira nuevamente, alejándose de la boca de la víctima evitando inspirar el aire espirado por la misma y se repite la operación precedente.



El vendaje de la mano exige un buen conocimiento de la técnica del mismo, ya que se trata de impedir que la gasa se afloje. En la ilustración de al lado y abajo: sobre la cara dorsal, a partir de la muñeca, se fijan tres asas de gasa que pasan después por las extremidades de los dedos, excluyendo el pulgar. Se vuelve a alcanzar la superficie inferior de la muñeca. Se realizan algunos giros en torno a la muñeca y después se efectúan numerosos giros en forma de ocho para fijar bien el vendaje. Al final se asegura todo mediante un esparadrapo.
Más abajo, método de vendaje del antebrazo: en estos casos es necesario impedir que la gasa forme pliegues y se afloje. Se debe, por lo tanto, en cada vendaje, volver la venda, haciéndola girar 180° de modo que la superficie externa de la misma se haga interna, y viceversa, y que el margen superior se haga inferior. Inicialmente se realizarán algunos giros en torno a la muñeca, posteriormente se hará subir la venda mediante giros en espiral (y siempre volviendo cada vez la venda) hasta terminar con dos giros circulares, fijando después el vendaje con un esparadrapo. En la última imagen, a la derecha, se indica cómo vendar el codo. Se comienza realizando con la venda dos giros alrededor del codo. A continuación se avanza hacia arriba y hacia abajo del codo mediante giros de la venda, cubriendo en cada ocasión dos tercios de la superficie del giro precedente, con cuidado de hacer cruzar los giros en el codo. Al final se fija la venda realizando dos giros en torno al brazo.







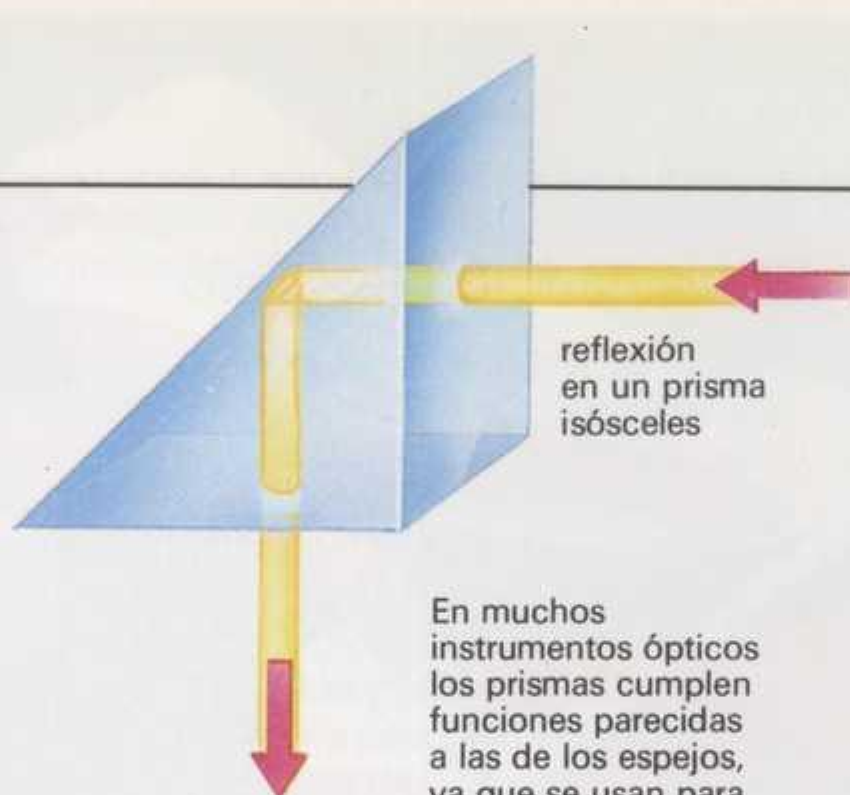


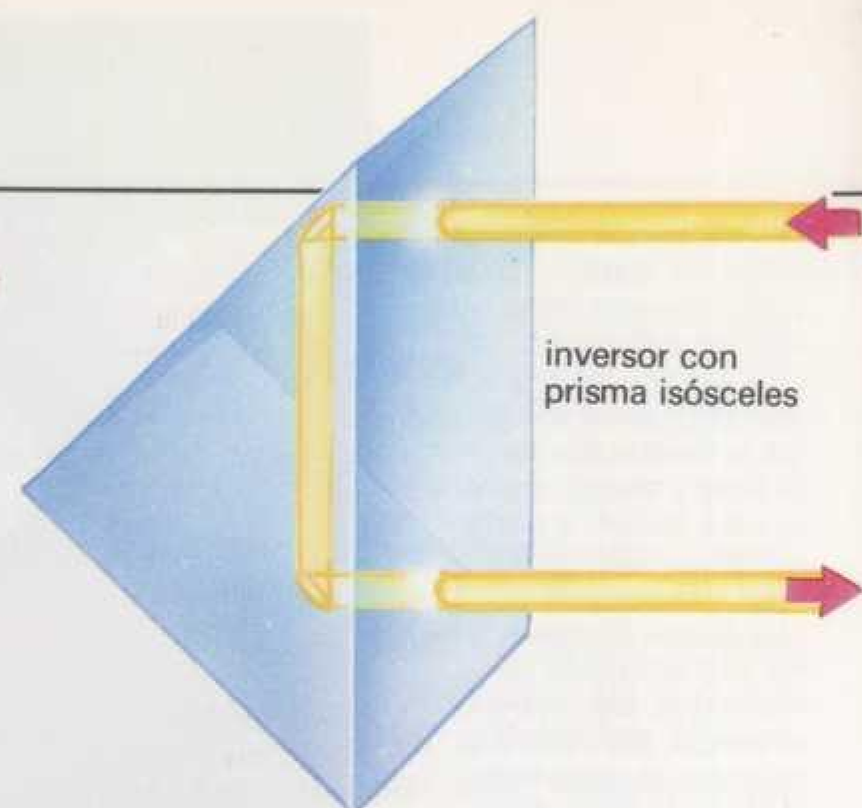


Prisma óptico

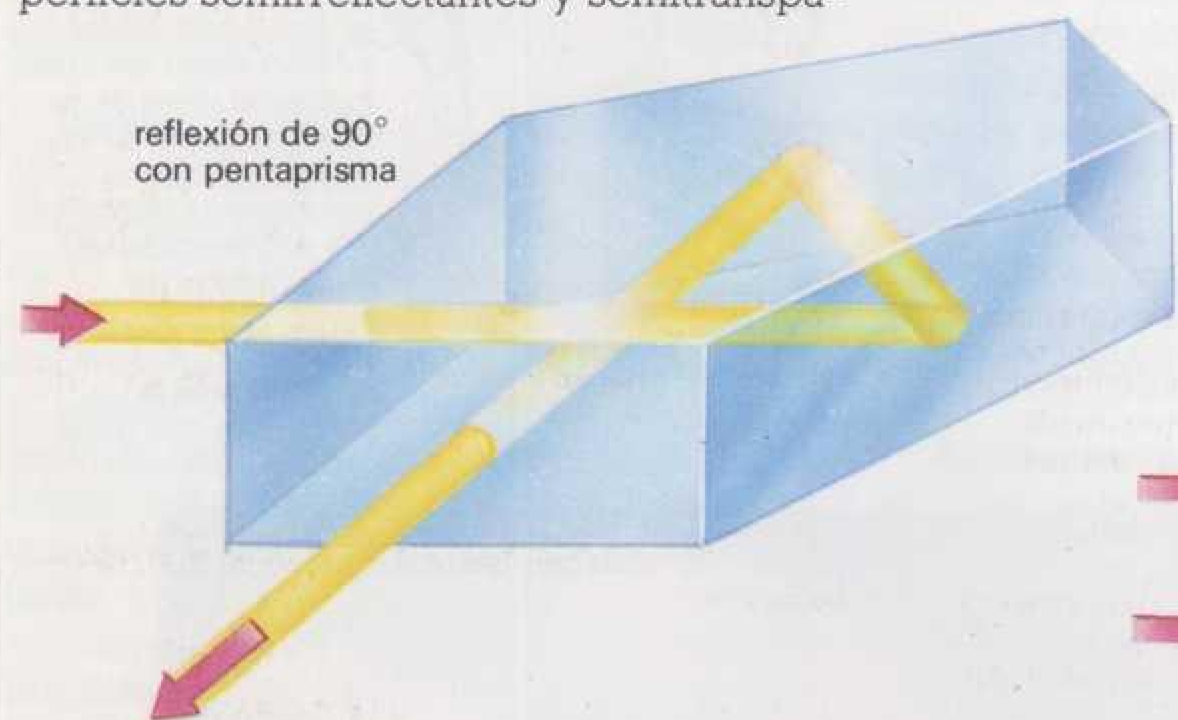
Es frecuente en los métodos de investigación científica que el estudio de determinados fenómenos, a veces muy complejos, se realice mediante instrumentos relativamente simples. Este es el caso del prisma óptico, un sencillo instrumento que no sólo permitió a Newton descubrir la composición de la luz blanca y el comportamiento de ésta al pasar de un medio material transparente a otro distinto, sino que sentó las bases para la concepción de un nuevo y revolucionario método de análisis: la espectroscopía. Un prisma es simplemente un trozo de vidrio o de otro material sólido transparente que puede adoptar distintas geometrías, aunque en su forma más típica combina dos caras triangulares y tres rectangulares, estas últimas formando entre sí ángulos de aproximadamente 60 grados.

Existen prismas más complejos, con superficies semirreflectantes y semitransparentes, llamados también separadores de rayos, que tienen numerosas aplicaciones prácticas, pero cuyos principios de funcionamiento son básicamente los mismos que en el modelo más simple.

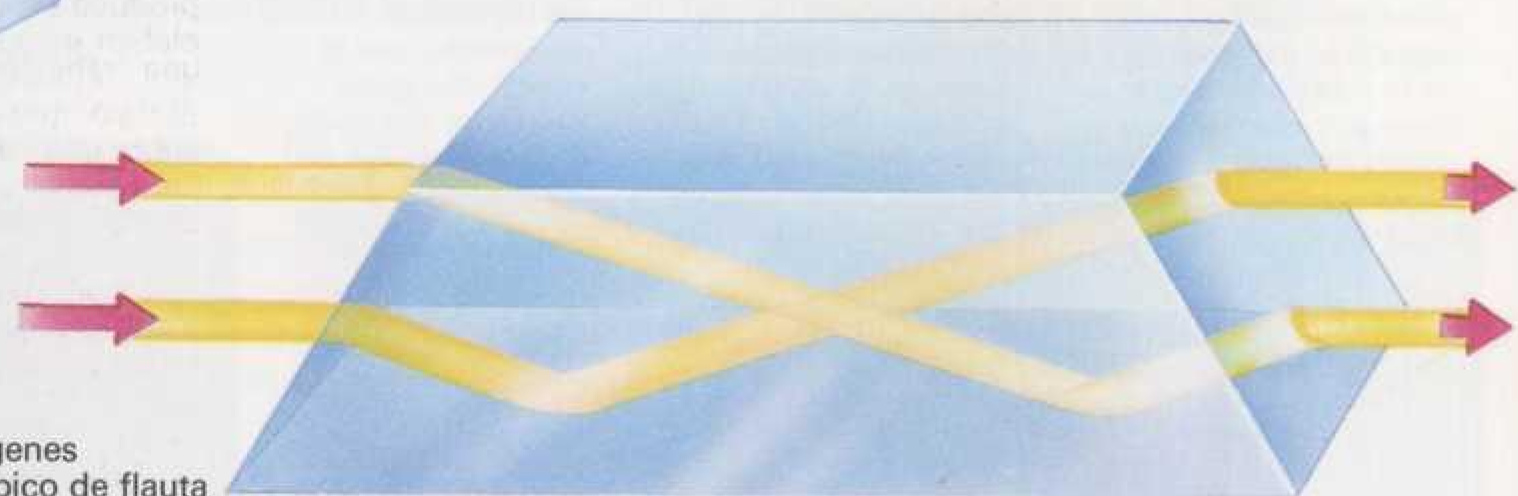




En muchos instrumentos ópticos los prismas cumplen funciones parecidas a las de los espejos, ya que se usan para desviar la luz. Este es el caso del prisma isósceles de 90° (arriba), que se emplea precisamente para reflejar los rayos en ángulo recto. Otros prismas, como el penta (izquierda), cumplen aparentemente la misma función, pero con una característica más: el penta (llamado así porque tiene cinco caras) refleja el rayo con un ángulo de 90° independientemente del giro alrededor de un eje vertical.



Bajo estas líneas se puede observar un prisma en pico de flauta, llamado así por la similitud de sus extremos con la embocadura de una flauta. Refleja las imágenes invirtiéndolas, y, además, al girarlo alrededor de un eje paralelo a la base, las imágenes giran un ángulo doble.



Propiedades del prisma óptico Newton descubrió que al hacer incidir un haz de luz blanca sobre un prisma se producía un fenómeno doble combinado de refracción y dispersión. En efecto, al salir del prisma, el haz de luz se propagaba en una dirección distinta de la que tenía en el momento de incidir; este fenómeno se conoce como refracción y tiene lugar siempre que el haz de luz pase de un medio transparente a otro distinto. En el caso del prisma se produce, en realidad, una doble refracción ya que la luz pasa primero del aire al prisma y después, nuevamente, vuelve a salir al aire. El ángulo formado entre la dirección del haz incidente y la del haz refractado se denomina ángulo de desviación. El experimento, además, puso de manifiesto la múltiple naturaleza de la luz blanca al demostrar que ésta no era una radiación monocromática sino un haz combinado de diversas radiaciones de distinta longitud de onda. En efecto, al salir del prisma, el haz de luz se había "dispersado" formando una imagen con los distintos colores del espectro. La "dispersión" se produce a causa de que la desviación varía con la longitud de onda, aunque no en forma lineal, ya que el color violeta, por ejemplo, se desvía más que el rojo.

Leyes de Snell En la primera mitad del siglo XVII, el físico holandés Willibrord Snell (1580-1626) dedujo una ley a partir de sus observaciones sobre la refracción de la luz en distintos medios.

Snell demostró que se puede asociar un número, llamado *índice de refracción*, a cada uno de los medios transparentes (vidrio, aire, agua u otros líquidos y gases densos). La ciencia moderna ha definido el valor de este índice como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio en cuestión.

Mientras que la velocidad de la luz en el vacío es la misma para todas las longitudes de onda, la velocidad a través de una sustancia material es distinta para cada una de ellas, lo que significa que también el índice de refracción será distinto para cada longitud de onda. El poder de dispersión de un prisma surge de la variación del índice de refracción del material del prisma con la longitud de onda. Los rayos de longitud de onda corta se refractan más al pasar por un prisma que los rayos de longitud de onda larga, lo que explica que la parte roja del espectro esté, en general, menos dispersada que la parte azul. La variación del índice de refracción de un prisma depende, como ya hemos visto, de las propiedades del material que se haya utilizado para fabricarlo. En general, y de acuerdo con el tipo de investigación que se vaya a realizar, la elección del material del prisma se hace con respecto a la dispersión deseada y a la región espectral que se desee investigar.

Aplicaciones El prisma simple que utilizó Newton estaba poco perfeccionado para tener aplicaciones tecnológicas. Sin embargo, en la actualidad, los prismas ópticos se utilizan en multitud de campos.

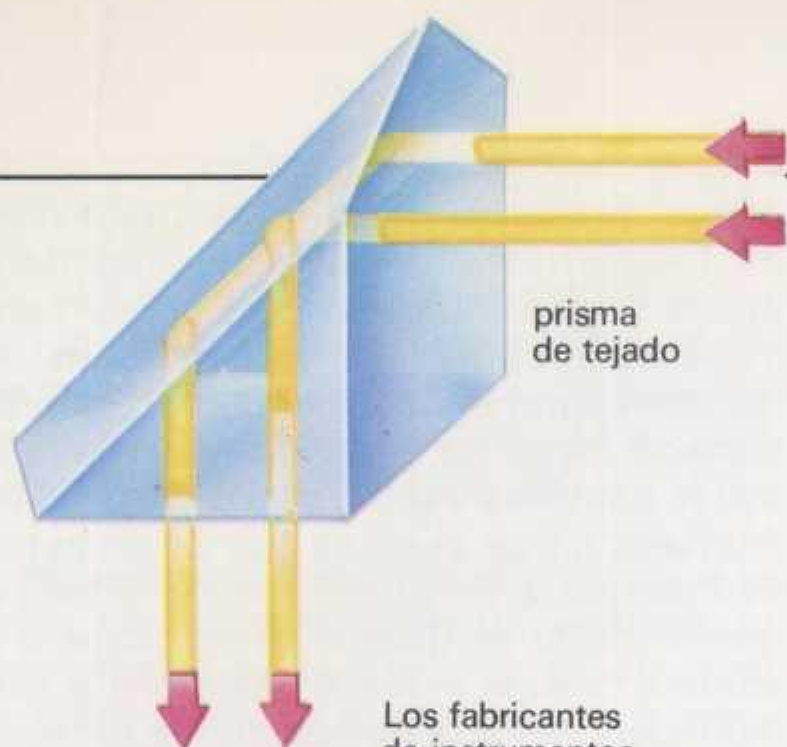
Uno de los usos actuales más importante es en las cámaras de televisión en color, donde la luz que entra por el objetivo se desvía y se separa en sus componentes, obteniéndose las imágenes rojas, azules y verdes. La recomposición de las tres imágenes en el receptor de televisión da una aproximación muy buena de la imagen real.

Los prismas son fundamentales en aparatos tales como los espectroscopios, espectrómetros y periscopios, y se utilizan también en sistemas ópticos con radiación de frecuencias electromagnéticas características por encima (ultravioleta) o por debajo (infrarrojo) de las frecuencias de la luz visible. En estos casos hay que em-

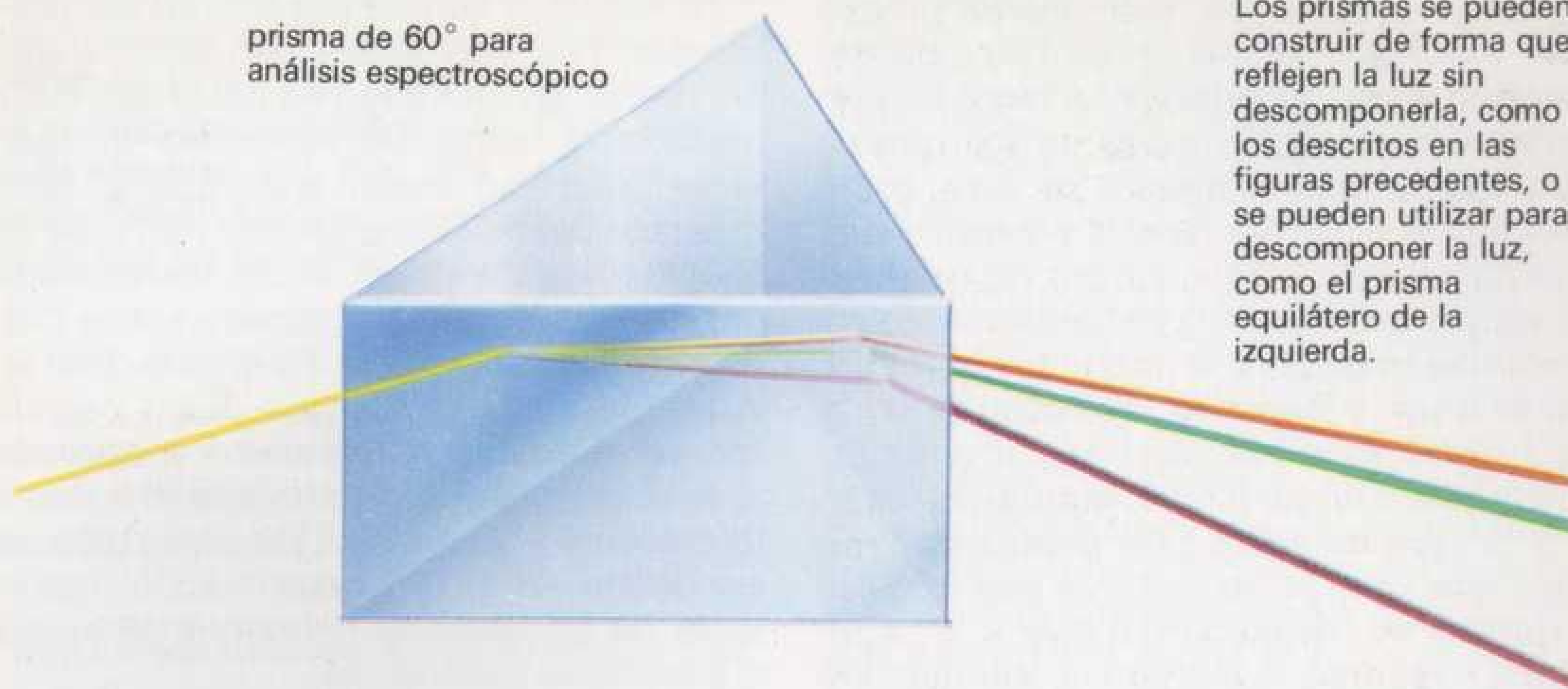
plear materiales que sean transparentes a las frecuencias de la radiación utilizada, y que pueden ser opacos para la luz visible, como en el caso del vidrio *flint*.

Los aparatos de refracción de infrarrojos son imprescindibles para los sensores de visión nocturna y en los sistemas guíamisiles, basados en la búsqueda de fuentes de calor. Además, son fundamentales para proyectar con precisión los rayos láser en aparatos ópticos de medida de alta precisión.

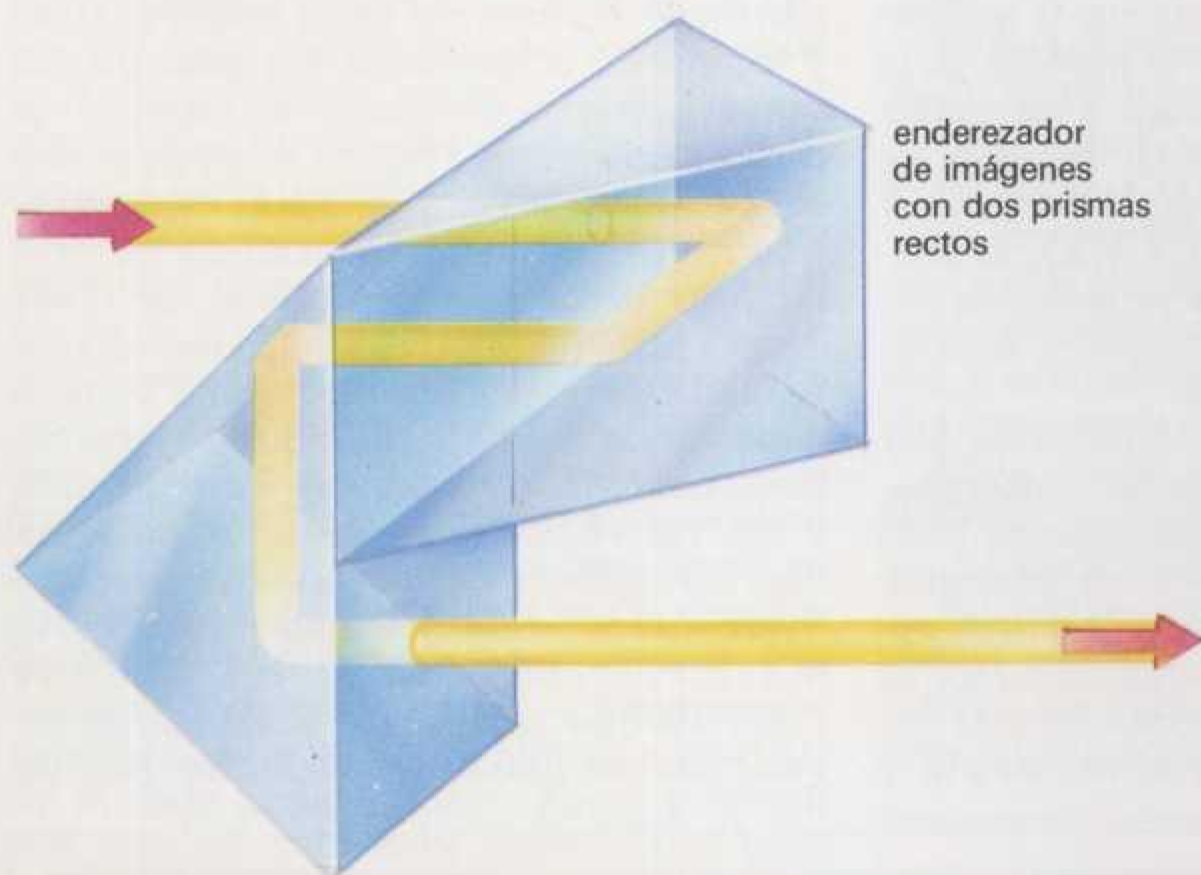
Véase **Binoculares; Lente; Luz; Optica; Reflexión; Refracción**



Los fabricantes de instrumentos ópticos deben tener en cuenta las posibles inversiones y giros que puede experimentar la imagen proyectada por el prisma.



Los prismas se pueden construir de forma que reflejen la luz sin descomponerla, como los descritos en las figuras precedentes, o se pueden utilizar para descomponer la luz, como el prisma equilátero de la izquierda.



A la izquierda, dos prismas rectos isósceles utilizados para enderezar las imágenes en los prismáticos y otros instrumentos para observación a distancia. En todos estos prismas la reflexión de la luz se produce en caras sin platear para obtener una "reflexión total". El rayo, que incide sobre una cara del prisma con un ángulo de 45°, se refleja totalmente; sin embargo, para tener la certeza de que la reflexión va a ser total, aunque sobre la cara no incida un haz de luz estrecho, sino un cono fuertemente convergente, el índice de refracción del vidrio que constituye el prisma tiene que ser muy elevado.

La descomposición de la luz es una aplicación típica de los prismas. Cuando un rayo de luz entra con cierta inclinación en una cara de un prisma, se descompone porque las distintas longitudes de onda se refractan con un ángulo diferente. Cuando los prismas se usan para obtener sólo reflexión, como si fueran espejos, la luz, que ha cambiado de dirección, experimenta, a la salida, refracciones de sentido contrario a las precedentes para anularlas. De esta forma la luz no se descompone. En cambio, en el prisma equilátero, como el que se utiliza en el espectroscopio sobre estas líneas, la salida a través de la segunda cara aumenta la desviación, y el haz de luz blanca se descompone en haces con los colores del arco iris. En el esquema se pueden ver los distintos procesos en el caso de un espectroscopio; a la izquierda, la fuente de luz; L y L' son las lentes del colimador y F es la rendija de entrada. La radiación de entrada es divergente, pero se vuelve paralela en el colimador (C), atraviesa el prisma (P) y se enfoca para dar la imagen del espectro. El prisma produce un espectro con el rojo bastante concentrado y una zona azul violeta muy extensa. Aunque actualmente se prefiere descomponer la luz con una red de difracción en vez de hacerlo con un prisma, el método es eficaz para la radiación infrarroja, para la que se utilizan prismas de materiales distintos al vidrio, por ejemplo, bromuro de potasio.

Probabilidad

Los conceptos de *azar*, *suerte* y otros análogos, de una forma más o menos confusa, han sido familiares a todas las culturas. Uno de los campos en los que se han usado explícitamente ha sido, como es natural, el de los juegos de azar —naipes, dados, etc.—, que son tan viejos como la propia cultura; pero, evidentemente, no de forma exclusiva: la *suerte* en la guerra, en el amor y en todas las situaciones de la vida ha sido considerada por antiguos y modernos como fundamental para explicar lo que no tenía otra explicación. Se dice que Demócrito sostenía que "todo lo existente es resultado del azar y la necesidad". Dejando al margen la autenticidad de la frase, y lo discutible que puedan resultar sus *lecturas* modernas, la misma, parece que permite aventurar la existencia de una cierta corriente de pensamiento, antigua y prestigiosa, que otorgase a *lo aleatorio* un cierto papel en la interpretación del mundo.

Al propio Aristóteles se debe, por otra parte, la primera doctrina aceptable y completa del concepto de *azar*. Sin embargo, han de pasar unos dos mil años antes de que se dé una teoría matemática —por lo tanto formal, universal y realmente operativa— sobre el azar: el *Cálculo de probabilidades*. Para ello fue preciso, obviamente, un desarrollo suficiente de la propia matemática y un enfoque racionalista y serio de un problema de la mayor importancia: el del juego. Así, por ejemplo, ya en 1494 Luca Pacioli (1445-1514), en su *Summa de arithmetica*, discute matemáticamente algunas cuestiones de juegos y, en pleno siglo XVI, dos figuras del peso de Cardano (1501-1576) y Galileo (1564-1642), se ocupan de problemas matemáticos sobre los juegos de azar. Este último trató la cuestión relativa al hecho de que al lanzar tres dados sea más favorable la apuesta al 10 que al 9 (dando la solución correcta al mostrar que, de las 216 jugadas posibles, 27 son favorables al 10 y 25 al 9). En cuanto a Cardano puede considerársele como el precursor de las teorías probabilísticas por su obra *Liber de ludo aleae*, que aparecerá póstumamente (en 1663). Por fin, en 1654, dos colosos, Pierre de Fermat (1601-1665) y Blaise Pascal (1623-1662), crean el Cálculo de probabilidades como resultado del análisis a que ambos someten, en la correspondencia que cruzan al efecto, los problemas de juegos que plantea al segundo de ellos su amigo el Caballero de Méré. En esencia, las ideas de Fermat y Pascal se resumen en lo siguiente: en un problema (de juegos), primero deben calcularse el número de todos los casos *posibles* y el de todos los casos *favorables*, cuestiones ambas, evidentemente, de naturaleza *combinatoria;* luego se divide el número de casos favorables por el de posibles, lo que de una medida matemática de la *probabilidad* de la jugada. Obviamente, el *intríngulis* está en que se cuenten de *verdad* los casos *posibles* y los *favorables* y no se caiga en la trampa de *confundir* dos distintos o *distinguir* dos iguales.

Ni Pascal ni Fermat publicaron sus problemas. Fue Huygens (1625-1695) quien los reunió en un folleto en holandés, cuya traducción latina, *De ratiociniis in ludo aleae*, apareció como apéndice al libro *Exercitationes Mathematicas* (1657), de su maestro van Schooten. Dicho texto puede considerarse como el primero sobre Cálculo de probabilidades. En él, con gran lucidez, su autor afirma que dicho cálculo "no se relaciona sólo con los juegos de azar sino con el fundamento de una teoría interesante y profunda." Por otra parte, se encuentra en él una contribución importante de Huygens: el concepto de *media* o *esperanza matemática*.

Tras Pascal Fermat y Huygens la Teoría o Cálculo de probabilidades se desarrolla ampliamente. Primero, ligada a los juegos de azar y a la combinatoria elemental; más tarde, relacionada con múltiples aplicaciones a la biología, la economía, las ciencias sociales, la ingeniería, la física teórica, etc. y vinculada a las partes más sofisticadas del análisis. Además se ha ido produciendo progresivamente, y sobre todo en los siglos XIX y XX, la convergencia del Cálculo de probabilidades con la Estadística, convirtiendo a ésta en una disciplina matemática.

Volviendo a la evolución histórica, hay que señalar los trabajos de Jacob Bernoulli (1654-1705), fundamentalmente su libro *Ars Conjectandi*, que apareció póstumamente (1713) y en el que se recoge, comentado, ampliado y perfeccionado, el texto de Huygens; en él se dan los más importantes teoremas sobre combinatoria, y 24 problemas de probabilidad relativos a los juegos de azar más conocidos de la época y, por último, se dedica una parte a aplicaciones "morales y económicas", en las que aparece el trascendental teorema, llamado luego de Bernoulli (aunque Poisson lo bautizara como "ley de los grandes números"), que asegura que la probabilidad de que $|k/n - p| \leqslant \varepsilon$, con $\varepsilon > 0$ tan pequeño como se quiera, se aproxima a la unidad, cuando n crece (siendo p la probabilidad y k/n la frecuencia de un suceso del que se hacen n puebas repetidas y se obtienen k resultados positivos).

Otro probabilista importante fue De Moivre (1667-1754), al que se debe un teorema, precedente del actual teorema central del límite, sobre la convergencia de la distribución binomial hacia la normal.

Se llega así al apogeo de la teoría con Pierre Simon Laplace (1749-1827) que, aparte de su enorme labor como analista y teórico de la Mecánica, fue autor de dos obras sustanciales sobre el Cálculo de probabilidades, la *Théorie Analytique des Probabilités* (1812) y el *Essai Philosophique sur les Probabilités* (editado en 1814, pero desarrollo de un original de 1795). Tras la obra de Laplace el Cálculo de probabilidades se convierte en una materia matemática asentada, a la que hay contribuciones múltiples durante los siglos XIX y XX. Tal vez sean de destacar, en especial, los trabajos de los grandes probabilistas rusos —Tchebichev (1821-1894), Markov (1856-1922) y Liapunov (1857-1918)—, que inician el estudio de sucesiones de variables aleatorias, dan las



Blaise Pascal (1623-1662), pensador francés nacido en Clermont-Ferrand, es más conocido del público culto por sus obras de contenido filosófico o religioso, por ejemplo, los famosos *Pensées* ("Pensamientos"). Sin embargo, sus trabajos como físico y matemático son muy notables. Educado por su padre, especialmente en el estudio de las lenguas clásicas, fue un niño prodigio que a los once años dominaba (después de su estudio como autodidacta) los *Elementos* y obtenía independientemente muchos de sus resultados. A los dieciséis años escribió su *Essai sur les coniques*. En 1646 proyectó una máquina aritmética. En 1654 creó, con Fermat, el Cálculo de probabilidades, al resolver los problemas del Caballero de Méré. En esa misma fecha publicaba su trabajo sobre el triángulo aritmético.

primeras ideas sobre procesos estocásticos, introducen las funciones características, etc. Es también un matemático soviético contemporáneo, Kolmogorov, quien da la axiomática del Cálculo de probabilidades y lo liga con la teoría de la medida, en los años 30 del siglo XX.

Sucesos y probabilidades Se tiene un cierto experimento aleatorio, es decir, un experimento en el que no se puede (o no se sabe) predecir el resultado; por ejemplo: lanzar un dado sobre la mesa. Se llama entonces, *suceso aleatorio* o, simplemente, *suceso*, a cada uno de los resultados de la prueba; en el caso del ejemplo pueden representarse por los números: 1, 2, 3, 4, 5 ó 6. Se llama espacio muestral al conjunto de dichos sucesos posibles. Se puede distinguir entre *sucesos elementales* —en el anterior ejemplo 1, 2, 3, 4, 5 ó 6— y *sucesos compuestos*, que están formados por conjuntos de los mismos —{1, 3} o "puntos pares" por poner dos ejemplos—. Es inmediato, entonces, considerar la *suma* o *unión* de sucesos como "el suceso compuesto que se da cuando resulta uno, otro o ambos sucesos" (es decir: se da al menos uno); el suceso *producto* o *intersección*, que es el que se produce cuando se dan los dos simultáneamente; y el suceso contrario a uno dado, que es el que consiste, precisamente, en que no se dé dicho suceso. Por otra parte, se llama suceso *seguro* al que se da siempre —salir un punto menor o igual que 7 al echar el dado, por ejemplo— y suceso imposible al que no se da nunca —salir 100 en el dado por ejemplo—. Es muy simple ver que las anteriores definiciones pueden interpretarse, inmediatamente, como las correspondientes al álgebra definida en el conjunto de las partes del conjunto $E=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ por la unión e intersección conjuntistas, y establecer un álgebra de Boole de sucesos; es decir, la que forma el conjunto de los sucesos con la unión, la intersección y la operación de tomar contrario, simplemente teniendo en cuenta el isomorfismo entre ella y el álgebra de conjuntos $\mathcal{P}(E)$. Es, por supuesto, cómodo inclúso adoptar las mismas notaciones conjuntistas ($A \cup B$, $A \cap B$, A', E y ϕ para la unión, intersección, contrario, seguro e imposible).

La comparación puede llevarse más lejos. Así, se llaman sucesos *incompatibles* a aquellos que su intersección es el suceso imposible (o sea, que los conjuntos correspondientes son disjuntos o, lo que es lo mismo, con intersección vacía). También se define el suceso diferencia B - A como la intersección de B con el contrario de A.

En el álgebra de Boole finita del ejemplo anterior sería muy fácil establecer una *medida*. Bastaría tomar como tal para un suceso el número (finito) de puntos que tiene el conjunto correspondiente o, si se prefiere, el número de los mismos dividido por el total; en el caso del ejemplo, los sucesos elementales tendrían una medida de 1/6. Curiosamente, resulta que dicha medida da una idea de lo fácil, lo *probable*, que es que salga el resultado. Por ejemplo: el suceso "salir 3" mediría 1/6 y el suceso "salir múltiplo de 3" (es decir 3 ó 6) mediría 2/3. Por otra parte, es fácil comprobar que las medidas $p(A)$, $p(B)$ cumplen las propiedades:

$$p(A) \geqslant 0$$
$$A \cap B = \phi \text{ implica } p(A \cup B) = p(A) + p(B)$$
$$p(E) = 1$$

que son, precisamente, las mismas que tienen las frecuencias relativas obtenidas en una sucesión de *n* pruebas:

$$f(A) \geqslant 0$$
$$A \cap B = \phi \text{ implica } f(A \cup B) = f(A) + f(B)$$
$$f(E) = 1$$

llamando "frecuencia relativa de A", $f(A)$, al cociente entre el número de veces que se obtiene A y el número de pruebas.

Por otra parte, se da la circunstancia de que:

a) Experimentalmente se comprueba que cuando *n crece indefinidamente* la frecuencia relativa, $f(A)$, tiende a estabilizarse en torno a $p(A)$.

b) Un teorema matemático (la ya citada "ley de los grandes números" o de Bernoulli) asegura que, bajo ciertas condiciones y entendida en un cierto sentido, dicha frecuencia "tiende" a $p(A)$.

Ello permite definir $p(A)$ como una característica numérica de A, a la que se llama *probabilidad de A*.

Tal vez sea este el punto en el que convenga enunciar claramente la definición clásica de probabilidad, la que se ajusta bien a los juegos y la que tenían "en mente" seguramente Fermat y Pascal, y que Laplace estableció formalmente: *"la probabilidad del suceso A*, resultado de un cierto experimento aleatorio, es el cociente del número de casos favorables a que se presente, dividido por el de casos posibles, *si estos son equiprobables*." ¡Perfecto! siempre que se trate de un número finito de casos y se supere la *petición de principio* de saber qué significa "equiprobables" antes de aprender a calcular probabilidades. Sin embargo, esta definición y la interpretación de la probabilidad como *límite* (en un sentido vago) de la frecuencia han sido suficientes durante mucho tiempo a la teoría y a sus aplicaciones. Pueden presentarse dificultades cuando el espacio muestral no es finito o cuando no es posible asociar el álgebra de todos los sucesos al conjunto de las partes $\mathcal{P}(E)$ (aunque, según el teorema de Stone, siempre es posible dada un álgebra de Boole encontrar un álgebra de conjuntos isomorfa de ella). Conviene, para superar tales dudas, plantear una teoría de modo general y abstracto, es decir axiomático, a partir de las teorías de las álgebras de Boole y de la medida.

Axiomática del cálculo de probabilidades Un espacio probabilístico viene dado por una terna $(E, \mathcal{B}, p)$ en la que:

1. $\mathcal{B}$ es un álgebra de Boole de sucesos.

2. E, el llamado *espacio muestral* o *suceso seguro*, es el elemento universal del álgebra $\mathcal{B}$.

3. $p(A)$ es una medida real definida sobre $\mathcal{B}$ (es decir, una función que atribuye



Pierre Simon, marqués de Laplace (1749-1827), nació en Beaumont-on-Auge. Fue profesor de Matemáticas en la Escuela Militar y uno de los primeros de la Politécnica. Importante cultivador del Análisis matemático, fue uno de los pensadores que más contribuyó a consolidar el sistema cosmológico *newtoniano*. Su monumental *Traité de la mécanique céleste*, 1799-1825, en cinco volúmenes, es fundamental. Fue, por otra parte, defensor del determinismo (formulado en términos matemáticos) y, lo uno no quita lo otro, uno de los principales probabilistas. Al respecto, son importantes la *Theorie Analytique des Probabilités* (1812) y el *Essai Philosophique sur les Probabilités* (1814).

un número real a cada suceso) tal que

I. $p(A) \geqslant 0$

II. $A \cap B = \phi$ implica $p(A \cup B) = p(A) + p(B)$

III. $p(E) = 1$

La medida $p(A)$ no negativa (condición I), aditiva (condición II) y normalizada (condición III) se llama probabilidad sobre $\mathcal{B}$. En el caso de un número finito de elementos en E y en $\mathcal{B}$ es fácil darle una significación simple (por ejemplo, número de puntos del subconjunto $A \subset E$ dividido por el de los que tenga E). Pero para el caso más general posible con infinitos elementos los axiomas anteriores son insuficientes y es necesario añadir los siguientes:

4. $\mathcal{B}$ es una σ-álgebra (léase "sigma-álgebra"); es decir: dada cualquier familia numerable, $A_1, \dots A_n, \dots$ de elementos de $\mathcal{B}$ la unión de todos ellos es también elemento de $\mathcal{B}$.

5. La medida $p(A)$ es, además de real, no negativa, aditiva y normalizada, completamente aditiva, es decir:

$$A_i \in \mathcal{B}, A_i \cap A_j = \phi (i \neq j) \text{ implican:}$$
$$p(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = \sum_1^{\infty} p(A_i)$$

Algunas propiedades inmediatas De los axiomas se deducen, por métodos simples y formales, numerosas propiedades. Por ejemplo las siguientes:

$$p(A') = 1 - p(A)$$
$$p(\phi) = 0$$

(El significado de la primera es interesante y sencillo: el suceso contrario del A tiene de probabilidad la unidad menos la de A. El de la segunda que: el suceso imposible tiene probabilidad nula. La recíproca no es cierta: un suceso, en el caso de infinitas posibilidades, puede tener probabilidad nula y no ser imposible).

Igualmente puede obtenerse que

$$p(A \cup B) = p(A) + p(B) - p(A \cap B)$$

o, más general:

$$p(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = p(A_1) + p(A_2) + \dots + p(A_n)$$
$$- p(A_1 \cap A_2) - \dots - p(A_{n-1} \cap A_n)$$
$$\dots\dots\dots$$
$$\pm p(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n)$$

Obviamente, se cumplen también las desigualdades, para sucesos cualesquiera

$$0 \leqslant p(A) \leqslant 1$$
$$p(A \cup B) \leqslant p(A) + p(B)$$
$$\dots\dots\dots$$
$$p(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \leqslant \sum_{i=1}^{n} p(A_i)$$

Si consideramos ahora un espacio muestral E formado por n sucesos incompatibles y elementales, $A_1, A_2, \dots, A_n$, y es aplicable a él la hipótesis de indiferencia ("todos tienen la misma probabilidad") resulta que:

$$A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n = E$$
$$\sum p(A_i) = np(A_i) = 1$$

es decir: $p(A_i) = 1/n$ y, por tanto, para cualquier suceso unión de k sucesos elementales se tendrá $p = k/n$, que permite reencontrar, en un nuevo contexto, la definición de Laplace.

Probabilidad condicionada Se define como *probabilidad condicionada* del suceso B al A, siempre que $p(A) \neq 0$, y se denota $p(B/A)$, al cociente

$$p(B/A) = \frac{p(A \cap B)}{p(A)}$$

Inmediatamente se comprueba que

$$0 \leqslant p(B/A) \leqslant 1 \qquad p(E/A) = 1$$

Puede, obviamente, escribirse, si $p(B) \neq 0$,

$$p(A/B) = \frac{p(A \cap B)}{p(B)}$$

y tenerse la expresión (llamada "teorema del producto o de la probabilidad compuesta") siguiente:

$$p(A \cap B) = p(A)p(B/A) = p(B)p(A/B)$$

El significado intuitivo de $p(B/A)$ es el de la probabilidad que tendría B supuesto que A se hubiera dado seguramente. Normalmente $p(B/A) \neq p(B)$, como se comprende fácilmente recurriendo al reiterado ejemplo del dado. Sean A y B los sucesos, respectivamente, "puntuación mayor que 2" y "puntuación menor que 4"; entonces $A \cap B$ será "puntuación igual a 3" y las probabilidades valdrán:

$$p(A) = 2/3 \qquad p(B) = 1/2$$
$$p(A \cap B) = 1/6 \qquad p(B/A) = 1/4$$

Si $p(B) = p(B/A)$, se tiene que $p(A \cap B) = p(A)p(B)$ y $p(A) = p(A/B)$ y los sucesos A y B se llaman *independientes*.

Variables aleatorias y sucesos estocásticos En el ejemplo del dado ha sido fácil atribuir a cada uno de los sucesos un número: 1, 2, 3, 4, 5 ó 6. Es entonces posible reducir el estudio del experimento aleatorio a una función llamada de *distribución* (o de *distribución de probabilidad*), F, correspondiente a la variable, llamada aleatoria, que toma los valores 1, 2, 3, 4, 5 y 6. La forma de hacerlo, en este caso simple, es la siguiente:

$$F(x) = \text{prob}(\xi \leqslant x)$$

o, lo que es lo mismo

x	$x < 1$	$1 \leqslant x < 2$	$2 \leqslant x < 3$
F	0	1/6	1/3

$3 \leqslant x < 4$	$4 \leqslant x < 5$	$5 \leqslant x < 6$	$x \geqslant 6$
1/2	2/3	5/6	1

$$F(b) - F(a) = \text{prob}(a < \xi \leqslant b)$$

En el caso, como el que nos ocupa, de variables aleatorias discretas se puede utilizar también la llamada función de frecuencia

$$p(x) = \text{prob}(\xi = x)$$

que vale 1/6 si x es 1, 2, ... ó 6 y 0 en cualquier otro caso.

Se tiene, por otra parte, que

$$F(x) = \sum_{x_i \leqslant x} p(x_i)$$
$$p(x_i) = F(x_i) - F(x_{i-1})$$

Conviene citar un caso interesante: la distribución binomial de parámetros p y n (p real tal que $0 \leqslant p < 1$, n natural, $q = 1 - p$) que se define como:

$$p(k) = \text{prob}(\xi = k) = \binom{n}{k} p^k q^{n-k} \quad k = 0, 1, \dots, n$$

$$F(x) = \sum_{k \leqslant x} \binom{n}{k} p^k q^{n-k}$$

$$F(x) = 0 \text{ si } x < 0 \text{ y } F(x) = 1 \text{ si } x \geqslant n$$

Una interpretación posible de esta distribución es la de pruebas repetidas o de Bernoulli. Un experimento tiene sólo dos resultados posibles, A y A', con probabilidades respectivas p y $q=1-p$; si se hacen n pruebas sucesivas ¿cuáles son las probabilidades de obtener el resultado A un número de veces $k = 0, 1, 2, \dots n$? La expresión antes dada para $p(k)$, obtenida aplicando un poco de combinatoria y las propiedades probabilísticas antes reseñadas, es la respuesta. Esta distribución es sumamente importante en numerosas aplicaciones. Además la llamada distribución *normal* o de Gauss-Laplace puede, en un cierto sentido, considerarse como límite de ella.

Si la variable es continua, es decir, toma valores en un intervalo de la recta real, puede definirse de igual modo la función de distribución $F(x)$. Puede, si se trata de las variables aleatorias llamadas *absolutamente continuas*, que exista $f(x)$, derivada de F, llamada, entonces función de *densidad* y que se tenga:

$$F(x) = \text{prob}(\xi \leqslant x) = \int_{-\infty}^{x} f(t)\,dt$$

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\text{prob}(x < \xi \leqslant x + \Delta x)}{\Delta x}$$

Entre las variables aleatorias continuas más interesantes cabe citar la rectangular y la normal.

La rectangular es

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \qquad a \leqslant x \leqslant b$$
$$f(x) = 0 \quad \text{para} \quad x < a \text{ ó } x \geqslant b$$
$$F(x) = \frac{x-a}{b-a} \qquad x \leqslant a \leqslant b$$
$$F(x) = 0 \qquad x < a$$
$$F(x) = 1 \qquad x \geqslant b$$

La normal de parámetros m y σ (m media y σ desviación típica) tiene por densidad

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \qquad -\infty < x < +\infty$$

Obviamente, la función de distribución es la integral de la anterior en el intervalo $(-\infty, x)$.

Pueden, igualmente, existir variables aleatorias mixtas, en las que F tiene discontinuidades en algunos puntos o, incluso variables aleatorias continuas para las que F no sea derivable en ningún punto.

En cualquier caso F es monótona no decreciente y continua por la derecha en cada punto (es decir:: $F(x+\varepsilon) - F(x)$ tiende a cero con ε). Por otra parte,

$$F(-\infty)=0 \quad F(\infty)=1$$

Un concepto fundamental —no sólo en cálculo de probabilidades, sino también en Estadística— es el de *esperanza matemática* o *media*. Si se tiene una variable de distribución F, su media se calcula por las expresiones

$$m=\bar{x}=\sum x_i p_i$$

$$m=\bar{x}=\int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)\,dx$$

según que sea discreta o absolutamente continua.

La esperanza matemática o media tiene una significación intuitiva muy clara; coincide con el valor medio (tanto si es suma o integral), cuyo sentido geométrico es el de coordenada del centro de gravedad, y el económico de valor (renta, coste, etc.) correspondiente a la distribución igualitaria. Es fácil definir un operador basado en ella y hablar, en vez de la esperanza de la variable, de la de una función de ella. Por ejemplo: E(g), esperanza matemática de g, es, según los casos,

$$E(g)=\sum g(x_i)p(x_i)$$

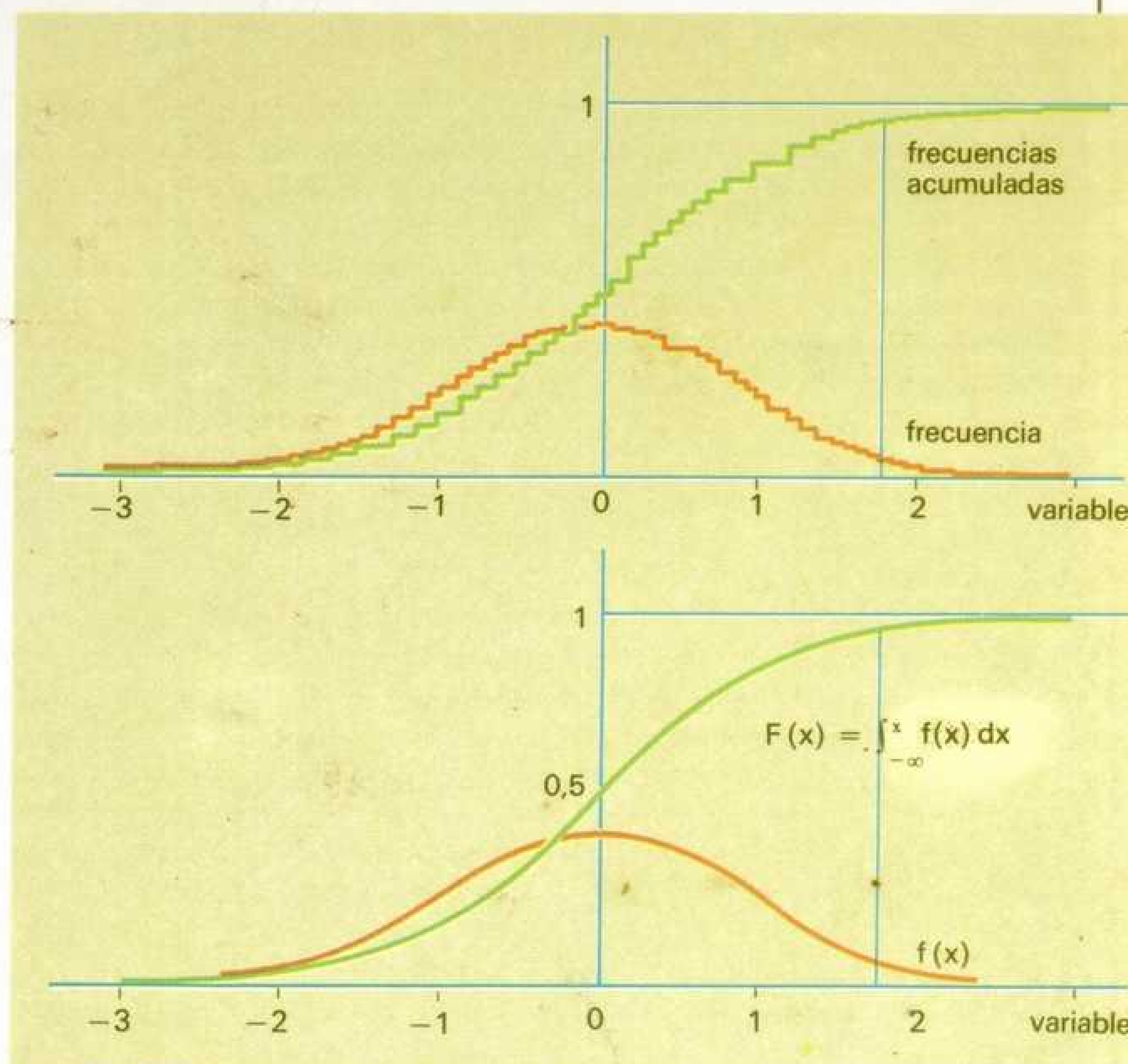
$$E(g)=\int_{-\infty}^{+\infty} g(x)f(x)\,dx$$

Se pueden así definir los llamados momentos de la distribución de orden n como $E(x^n)$ o $E[(x-\bar{x})^n]$ según sean respecto al origen o a la media (o "centrales").

Entre estos últimos es importante el de segundo orden $E[(x-\bar{x})^2]$, llamado también *varianza* y designado por σ^2. Ella, o su raíz cuadrada, la desviación típica, σ, miden cómo se dispersa la variable aleatoria en torno a la media.

En muchos casos el espacio probabilístico en estudio tiene que representarse por una variable aleatoria n-dimensional (o vectorial). En tal caso el estudio se puede complicar por la necesidad de investigar las posibles relaciones entre las diferentes variables unidimensionales.

Más complejo que el estudio de variables n-dimensionales, que pueden considerarse como colecciones de n variables unidimensionales, lo es el de sucesiones o, incluso, de familias de infinitas variables aleatorias dependientes de un parámetro continuo. Se trata entonces de investigar cuestiones muy difíciles, como las de la convergencia de las mismas. Precisamente el llamado "teorema central del límite" es el que asegura que, bajo ciertas condiciones, una sucesión de variables aleatorias independientes: $X_1, X_2, ..., X_n, ...$, cuyas medias y desviaciones típicas son $m_1, m_2, ..., m_n, ...$ y $\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_n, ...$, respectivamente, cumple que la nueva variable $(X - m)/\sigma$, en la que $X=\Sigma X_i$, $m=\Sigma m_i$ y $\sigma^2=\Sigma\sigma_i^2$, tiene una distribución aproximadamente normal de media nula y desviación típica unidad que, cuando n tiende a infinito, tiende exactamente a dicha distribución. Dicho teorema es fundamental y justifica, matemáticamente, por qué en muchos fenómenos aparece, exacta o aproximadamente, la distribución normal.



En numerosos problemas prácticos se obtienen distribuciones de frecuencias estadísticas, como las que muestra la figura, con una cierta forma de campana. Las mismas son aproximaciones de una distribución teórica que se estudia en Cálculo de probabilidades: la "normal" o "de Gauss-Laplace". Esta coincidencia es un hecho experimental que tiene una base teórica: "el teorema central del límite". Este, en términos informales y aproximativos, permite predecir que un fenómeno aleatorio, si es suma de muchas pequeñas causas también aleatorias e independientes, es aproximadamente normal.

Conviene señalar, por último, que precisamente un proceso estocástico es una familia infinita de variables aleatorias, dependiente de un parámetro discreto o continuo (normalmente representativo de una variable que puede asimilarse intuitivamente al tiempo) que cumplen cierto tipo de relaciones de dependencia probabilística. Los mismos son fundamentales en la aplicación del Cálculo de probabilidades a problemas dinámicos.

Probabilidad y mundo real Para los matemáticos la probabilidad y su cálculo están claros. Por lo menos, tan claros como los conceptos de conjunto, número, medida, etc. Es decir, que para ellos se trata de un concepto abstracto definido mediante unos axiomas y que se somete a un cálculo derivado de los mismos. Otro problema diferente es la de las interpretaciones empíricas que se pueda o quiera dar al concepto de probabilidad. Dicho problema no es, como se comprende fácilmente, sólo una cuestión académica: la posible aplicación del cálculo de probabilidades en numerosos campos y la validez de los razonamientos, y la eficacia de las acciones basados en él, tendrán mucho que ver con la misma.

Para unos, la probabilidad tiene una base subjetiva (se trataría de una medida, más o menos arbitraria, de la verosimilitud que se otorga a una proposición, o indicaría un grado de creencia o desconocimiento); para otros, es objetiva (por ejemplo interpretándola como frecuencia o como límite de frecuencia). Numerosos matemáticos, filósofos y lógicos han participado en la polémica que, conviene insistir en ello, no pone en duda la teoría matemática. Entre ellos aparecen nombres importantes también por otras razones, como von Mises, Wittgenstein o Carnap.

En cuanto a la aplicación del Cálculo de probabilidades al estudio de la realidad, conviene reconocer la razón de Huygens en el primer libro de la disciplina: no se trata sólo de juegos, también de cosas, si no más serias sí más graves. Por una parte la Estadística actual es, aparte su cierto estilo heurístico y pragmático, una aplicación del Cálculo de probabilidades, y quien dice Estadística dice conocimiento y acción en la sociedad moderna (demografía, estadísticas económicas, aplicaciones ingenieriles en calidad, seguridad y fiabilidad de los productos, *marketing*, investigaciones sociológicas, etc.) Pero, por otra parte, bien directamente bien a través de las muchas disciplinas especializadas del mismo (teoría de colas, teoría de la decisión, teoría de la información, etc.) el Cálculo de probabilidades da métodos y modelos para interpretar, explicar y prever el comportamiento de numerosos fenómenos físicos, biológicos, psicológicos y sociales. Precisamente, uno, de los grandes debates —se vuelve así a Demócrito— de la Física y la Biología contemporáneas es el papel que en la realidad juegan "el azar y la necesidad". La Termodinámica y la Mecánica estadística primero y la Mecánica cuántica después han supuesto en el siglo XIX y en el XX una quiebra del determinismo clásico y han introducido la probabilidad en la explicación de la propia realidad. La cuestión es compleja y disputada y plantea serios problemas epistemológicos.

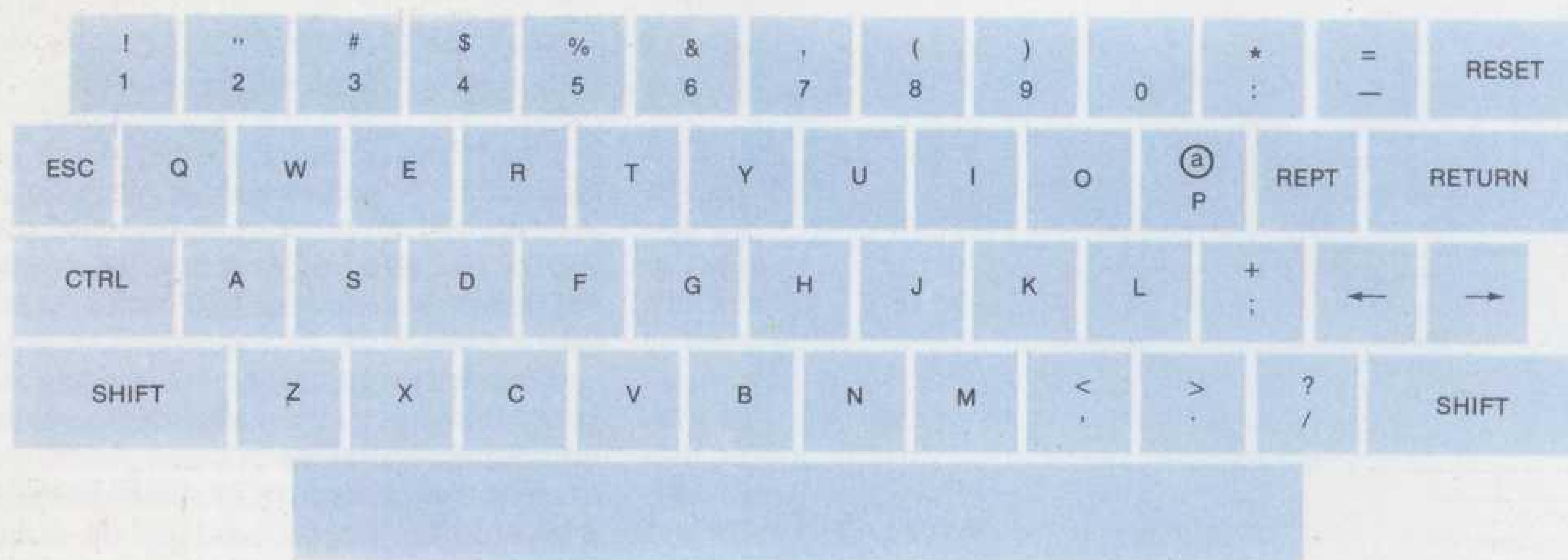
Véase **Contraste de hipótesis; Estadística; Estadística descriptiva; Estimación estadística; Muestreo estadístico; Teoría de la decisión**

Procesador de textos

El arte de la imprenta empezó hacia mediados del siglo XV, cuando J. Gutemberg (1400-1468) inventó la prensa de caracteres móviles. Después de la imprenta, la máquina de escribir ha sido el siguiente paso de gigante en la historia de las ayudas tecnológicas a la escritura, llevando a nivel individual la posibilidad de obtener textos legibles y ordenados. Actualmente el procesador de textos, o *word processor*, pone al servicio de la elaboración y revisión de textos, tanto a nivel personal como de pequeñas empresas, toda la potencia de los ordenadores, y se presenta como un sustituto más inteligente, no sólo de la máquina de escribir, sino también, en algunos casos, de la linotipia, de las máquinas de composición e incluso del télex.

El *hardware* Un procesador de textos es esencialmente un ordenador especializado en el tratamiento de textos. Su *hardware* (parte electrónica material) no es muy distinto del *hardware* de un microordenador: dispone de un teclado, parecido al de una máquina de escribir eléctronica, para dar las instrucciones necesarias a la máquina y para introducir el texto; una pantalla de tubo de rayos catódicos permite visualizar el texto (sustituyendo al tradicional papel en todas las fases intermedias); tiene, además, uno o varios microordenadores, donde se encuentra la "inteligencia" de la máquina; una memoria interna de trabajo, donde está almacenado el texto durante todas las fases para poder manipularlo y corregirlo; una memoria "de masa" exterior, donde se pueden archivar textos a largo plazo en espera de posteriores procesos de impresión o simplemente como documentación. El programa o *software* (conjunto de instrucciones que dirige el trabajo de la máquina) está almacenado permanentemente en la memoria.

Así pues, un procesador de textos es una máquina especializada, que nace con una función determinada, pero cuya estructura básica es la de un microordenador; de hecho, existen sistemas de procesamiento de textos que se pueden programar para que desarrollen otras funciones. En sentido inverso, casi todos los microordenadores disponen de programas que los adaptan para procesar textos. En este caso el programa está almacenado normalmente en un disco flexible, se puede leer con el dispositivo correspondiente y cargarlo en la memoria de la máquina. Las prestaciones de un procesador de textos especializado suelen ser claramente superiores, pero existen también buenos programas de procesamiento de textos para los microordenadores de uso común.



A la izquierda, un teclado típico de un ordenador personal con la disposición de teclas estándar para el idioma inglés. Se trata de un teclado para programar, reducido a lo esencial; por este motivo, los programas de procesamiento de textos para microordenadores tienen numerosas limitaciones y en varios aspectos no son fáciles de usar.

Funciones de un procesador de textos Normalmente un texto escrito con una máquina de escribir es difícil de modificar: si se quiere conseguir un documento perfecto la única posibilidad, en caso de error, es reescribir la página entera o el texto completo en caso de muchos errores; por esta razón, en oficinas, bufetes, etc. es frecuente que haya que repetir varias veces el mismo texto para incluir modificaciones o simplemente para corregir errores de mecanografía. En cambio, con un procesador, una vez introducido el texto, éste se almacena en la memoria de la máquina de forma que, en cualquier momento, se puede ver en la pantalla y se pueden corregir los errores; por ejemplo, en el caso de una letra equivocada basta con situar el cursor donde esté el error y marcar la letra correcta; automáticamente la corrección queda registrada en el texto. Normalmente aparece en la pantalla un cuadradito o un guión intermitente, el cursor, que indica el punto donde se escribirá la siguiente letra o, en cualquier caso, el punto donde aparecerá el efecto de la intervención del operador. Existen teclas especiales para desplazar el cursor a lo largo de la pantalla, otras para borrar una letra, una palabra, una línea o un párrafo, y otras para insertar en el texto letras, palabras o párrafos enteros. En cada corrección se desplaza el texto completo reajustándose de acuerdo con la operación efectuada.

En algunas máquinas, la pantalla muestra la página completa, tal y como aparecerá cuando la impresora transcriba el texto sobre papel. Si el modelo no resulta satisfactorio, se pueden modificar las instrucciones generales de formato: se puede ampliar o reducir los márgenes, aumentar o disminuir la longitud de los renglones, variar los espacios entre una línea y otra, etc. Una vez modificadas las instrucciones iniciales, basta con apretar una tecla para que se vuelva a repaginar todo el texto, que aparecerá en la pantalla de acuerdo con el nuevo formato.

Además de todas las funciones anteriormente descritas, los procesadores de

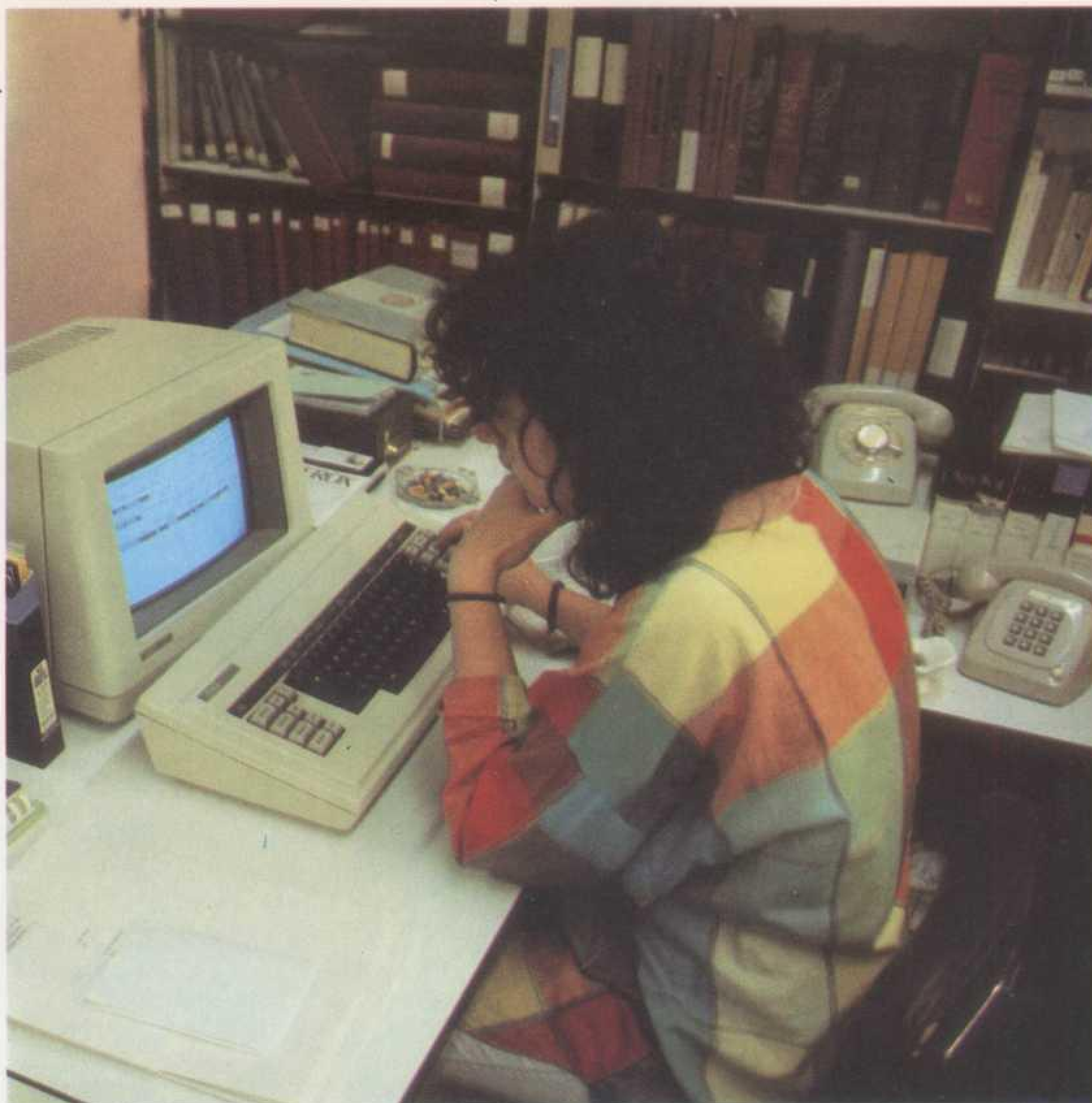


Junto a estas líneas, teclado del procesador de textos que aparece en la página siguiente. Se trata de un teclado adecuado al castellano, con una serie de teclas destinadas a funciones de eliminación, búsqueda, sustitución, avance o retroceso por párrafos, líneas, palabras o caracteres. Además de la función evidente, muchas teclas tienen otras funciones si se pulsan simultáneamente con la tecla de código, junto al espaciador.

textos pueden realizar funciones tan útiles como la de búsqueda: ésta consiste en ordenar a la máquina que relea, parcial o totalmente, el texto memorizado, identificando las posiciones donde está presente una determinada palabra o símbolo que se desee eliminar, corregir o sustituir por otro. Una vez dada la orden de búsqueda y memorizada la operación que debe realizarse en cada caso, la máquina procede automáticamente a su ejecución.

Dependiendo del tipo de impresora disponible se puede modificar después el tamaño o la forma de los caracteres, subrayar, realzar y realizar otras muchas operaciones.

Véase **Fotocomposición; Microordenador; Miniordenador; Ordenador**



La fotografía de la derecha presenta el sistema de procesamiento de textos que se ha utilizado en la confección de esta Enciclopedia de Ciencia y Técnica. El diagrama situado bajo estas líneas representa los componentes fundamentales de un programa de procesamiento de textos para microordenador: es un programa modular, formado por una serie de subprogramas que realizan funciones específicas (escritura, corrección, impresión, memorización, etc.). Como se puede ver, a pesar de que su estructura es bastante compleja, todavía se trata de un programa simple: por ejemplo, no aparece ningún subprograma para la partición automática de palabras, programa que sí posee el procesador de la fotografía, el cual transmite a través de un *modem* todos los textos a un sistema de fotocomposición.

controles fundamentales

- función de escritura
  - rutina fundamental de escritura
  - rutina de escritura extensa
- función de visualización e impresión
  - rutina de visualización
  - rutina de imprenta
    - control de paginación
    - rutina de paginación
- función de corrección
  - corrección del texto
  - división de renglones
- función de redacción
  - nueva división en renglones
  - borrado de renglones
  - inserción de líneas
  - función de búsqueda
- función de inserción
  - escritura de inserciones
  - extracto de texto
  - visualización
  - imprenta
  - corrección
  - borrado
  - fusión con el texto preexistente
- función de lista de direcciones
  - introducción de direcciones
  - visualización
  - corrección
  - imprenta de cartas
  - imprenta de sobres
  - imprenta de listados o etiquetas
- función de formatización
  - controles de formatización
  - nueva división en renglones
  - paginación
- función de memorización
  - texto principal
  - inserción de párrafos
  - lista de direcciones
- función de recuperación
  - texto principal
  - lista de direcciones
  - lista de direcciones
- función de glosario
  - inserción
  - visualización
  - imprenta
  - borrado
  - clasificación
  - memorización
  - recuperación
- búsqueda y elección en archivos
- conversión de código
  - creación de tablas de códigos
  - memorización
  - recuperación
- función de comunicación
  - transmisión solamente
  - transmisión y grabación
  - envío de documentos
- tablas / gráficos / histogramas
  - procesamiento del material
    - visualización
    - imprenta
    - regulación de espacios
    - conversión en texto
    - borrado de la memoria

PROGRAMA DE IMPRESION

PROGRAMA DE REDACCION

PROGRAMA DE INSERCION

PROGRAMA DE DIRECCIONES

PROGRAMA DE REFORMATIZACION

PROGRAMA DE BUSQUEDA DE DIRECCIONES

PROGRAMA DE COMUNICACION

PROGRAMA GLOSARIO

PROGRAMAS PARA TABLAS, GRAFICOS Y DIAGRAMAS

proceso automático de contratos, formularios y listas de direcciones

parte del programa que también puede funcionar como *interface* hacia un sistema de fotocomposición

Programación matemática

La palabra *programa* (y su derivada *programación*) se utiliza, en el lenguaje ordinario, en el propio de numerosas actividades diarias y en el de la política y la economía con gran frecuencia. Su significado más usual es próximo al de *plan* y se refiere a la secuencia ordenada de acciones elementales, normalmente detalladas y fechadas, que conducen a un fin o, bien, suponen por sí mismas un proceso, o un acontecimiento. Se habla, así, de *programas* económicos, políticos, de producción, de ventas, de un espectáculo, de una máquina automática o de una temporada deportiva. Resulta lógico que, con la aparición de la informática, se haya designado como *programa de ordenador* el que debe consumar éste para ejecutar un cierto algoritmo matemático o lógico o un tratamiento de datos. Tal acepción es hoy una de las más usuales, al menos en contextos técnicos, del término *programa*.

Por el contrario, no han adquirido ninguna popularidad, a pesar de su gran utilidad práctica e interés intelectual, los *programas* y la *programación matemáticos*.

La programación matemática es una técnica de optimización, es decir de cálculo de máximos o mínimos, para funciones de varias variables que, a su vez, están sometidas a ciertas condiciones adicionales. Su aplicación, dejando aparte su interés puramente matemático, es notable en múltiples campos científicos, económicos y técnicos, que van desde la determinación de la dieta de un rebaño a la del funcionamiento del sistema eléctrico de un país o la planificación macroeconómica.

¿Qué es un programa matemático? De modo concreto, y con alguna precisión *técnica*, se llama *programa matemático* al problema que se describe a continuación.

Determinar el máximo de $f(\mathbf{x})$ cuando:

1. $f(\mathbf{x})$, o $f(x_1, x_2, ..., x_n)$, es una función de $\mathbb{R}^n$ en $\mathbb{R}$ (es decir, la variable independiente es el vector $\mathbf{x}$ de componentes x_1, x_2, ..., x_n y $f(\mathbf{x})$ toma valores reales).

2. La variable vectorial $\mathbf{x}$, o lo que es lo mismo, sus componentes, x_1, x_2, ..., x_n, satisfacen una o varias condiciones del tipo:

$$g_k(\mathbf{x}) \geqslant b_k,\ g_k(\mathbf{x}) \leqslant b_k \text{ ó } g_k(\mathbf{x}) = b_k$$

siendo los b_k números reales no negativos (es decir, $b_k \geqslant 0$).

3. Las componentes x_1, x_2, ..., x_n deben ser: $x_i \geqslant 0$.

Conviene señalar, en primer lugar, que, si se suprimen las condiciones de los dos últimos puntos, se trata de un problema clásico de máximos o mínimos; y que, cuando las condiciones son de las dadas en el punto 2, pero sólo del tipo *igualdad*, se trata de un problema de máximos o mínimos condicionados. Ambos casos son resueltos, cuando las funciones f y g tienen derivadas continuas, por los métodos tradicionales del Análisis (incluido el denominado de los "multiplicadores de Lagrange"). Cuando en el problema se incluyen restricciones de todos los tipos se está, propiamente, en presencia de un *programa matemático*.

Es posible plantear problemas más generales de optimización; por ejemplo, la variable $\mathbf{x}$ puede no ser un vector de n componentes reales, sino pertenecer a un espacio abstracto más o menos sofisticado. O, en otro sentido, cabe sustituir las sencillas condiciones adicionales sobre las componentes (que, en realidad, no hacen sino definir el dominio de $\mathbb{R}^n$ en que interesa f) del vector $\mathbf{x}$ por la de que éste pertenezca a conjuntos definidos de forma arbitraria. Aunque, por otra parte, algunos problemas, más generales en apariencia, pueden reducirse inmediatamente al programa propuesto. Por ejemplo, el de minimizar la función $f(\mathbf{x})$ se reduce al de maximizar su opuesta, $-f(\mathbf{x})$. Del mismo modo, si se tiene un problema con una condición, para alguna de las x_i, del tipo $x_i \leqslant 0$, ésta se reduce inmediatamente a la propuesta haciendo el cambio a la nueva variable x'_i en la forma $x'_i=-x_i$. Es más: en realidad, el programa que se ha descrito puede reducirse a uno más simple en el que todas las condiciones sobre las g_k adoptan la forma de igualdades a cero. Para ello basta sumar o restar al primer miembro, $g_k(\mathbf{x})$, una variable real $x_k \geqslant 0$, según sea $g_k(\mathbf{x}) \leqslant b_k$ ó $g_k(\mathbf{x}) \geqslant b_k$ y pasar la constante b_k al primer miembro.

Las variables adicionales x_k, introducidas artificialmente, no figuran explícitamente en $f(\mathbf{x})$, pero sí en las condiciones, y suelen denominarse de *holgura*. En lo que sigue se mostrará algún ejemplo de las mismas.

Se puede uno preguntar: ¿Por qué se estudian *programas matemáticos*? ¿Por qué no contentarse con el estudio clásico de máximos y mínimos, libres o condicionados, de funciones derivables de una o varias variables, tal como se hace en el Cálculo diferencial clásico? O, puestos a complicar las cosas y generalizar: ¿Por qué no estudiar la optimización de funciones con las variables independientes condicionadas a pertenecer a conjuntos definidos arbitrariamente? Los dos extremos pueden contestarse, con relativa facilidad, en los siguientes términos:

Primero. Hay problemas muy sencillos que el Análisis clásico no resuelve. Por no ser derivables, o incluso continuas, las funciones o las condiciones adicionales o por estar las mismas definidas en conjuntos acotados (y poderse dar, por tanto, los máximos o mínimos también en las fronteras de los mismos), entre otros casos.

Segundo. En el otro extremo: resulta imposible un estudio *general* para funciones *cualesquiera* con condiciones *arbitrarias*, mientras que es factible intentarlo, y obtener resultados teóricamente interesantes y prácticamente aplicables, para casos menos generales, como los de los llamados *programas matemáticos*.

Tercero. Por último, aunque en fundamental lugar, hay que señalar que los *programas matemáticos* son *modelos* de problemas técnicos y económicos que se plantean en la realidad de nuestras sociedades contemporáneas. Piénsese, por ejemplo: que x_1, x_2, ..., x_n son las cantidades de ciertas materias (y, por tanto, $x_i \geqslant 0$); que cada $g_k(\mathbf{x})$ representa limitaciones a las mismas (por ejemplo, $x_k \leqslant b_k$, si b_k *es la cantidad máxima disponible*) *y que* $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ representa una función que da un valor a cada combinación $(x_1, x_2, ..., x_n)$, por ejemplo la cantidad de producto que corresponde a la misma.

Precisamente suele llamarse a f la *función objetivo* o *índice*. También se habla, a veces, de *función económica*; e incluso, en muchos casos, de *función de beneficio* o *de coste* (según se tenga que maximizarla o minimizarla), aun cuando no se trate de aplicaciones económicas.

A las ecuaciones (igualdades) o inecuaciones (desigualdades) se las llama *ligaduras* o *restricciones*.

Los programas pueden dividirse según múltiples criterios. El habitual es considerar, por una parte, los programas *lineales*, que son aquellos para los que la f y las g_k son funciones lineales, y por otra, los *no lineales*, que son los que no cumplen tal condición. Entre los *no lineales* puede, a su vez, establecerse diferentes categorías, según el tipo de las funciones f y g_k; se habla, por ejemplo, de programación *cuadrática*, *convexa*, etc. según sean aquéllas.

Cuando no se hace ninguna observación, se supone que las variables x_1, x_2 ..., x_n pueden (siempre que cumplan las restricciones) tomar cualquier valor real. Pero hay problemas de programación en que dichas variables sólo pueden tomar valores enteros; se dice entonces que se trata de *programas en números enteros*. Si unas variables han de ser enteras y otras reales cualesquiera se habla de programas *mixtos*. Cabe, incluso, que las variables sean binarias y sólo tomen los valores *0* y *1* y sea, entonces, el caso de la llamada programación *booleana*.

En cualquier caso hay que destacar que los *programas matemáticos* son modelos de optimización estática.

Un ejemplo simple A efectos de claridad y sencillez expositivas va a considerarse un supuesto problema real (aunque un tanto ingenuo y muy simple) de optimización, a modelizarlo como programa matemático y a resolverlo por último.

Sea el siguiente problema: una supuesta pequeña empresa de servicios de un país imaginario utiliza sólo dos factores productivos, por ejemplo, horas-hombre y horas-ordenador, que pueden contratarse libremente a precios unitarios prefijados y conocidos. Sin embargo, sólo cuenta con un presupuesto de gastos anuales determinado y, por otra parte, debido a razones técnicas, fiscales, de legislación social, etc., tiene también limitadas las cantidades máximas de dichos factores productivos. Por otra parte, la experiencia de la empresa le permite conocer la cantidad de producto anual a partir de las cantidades empleadas de los factores. ¿Cuál debe ser la combinación de factores elegida?

Primero deberá establecerse el modelo en la siguiente forma:

1º) Llámese x_1 y x_2 a las cantidades de

los dos factores a emplear en un año. Estas han de ser no negativas.

$$x_1 \geqslant 0 \qquad x_2 \geqslant 0$$

2º) Si los costes por hora de x_1 y x_2 son respectivamente a_{11} y a_{12}, el coste total anual será $a_{11}x_1 + a_{12}x_2$. Si el presupuesto de que se puede disponer es b_1, la limitación que se tiene es:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leqslant b_1$$

Si, por otra parte, los límites de los factores son b_2 y b_3, se tendrá, obviamente

$$x_1 \leqslant b_2,\ x_2 \leqslant b_3$$

3º) Por último, debe establecerse la función $f(x_1, x_2)$ que da la cantidad de producto a partir de las de x_1 y x_2. Puede, razonablemente, admitirse que ésta es una función lineal en x_1 y x_2; es decir, que, con una de ellas fija, f varía proporcionalmente con la otra y que, cuando x_1 y x_2 son nulas también lo es $f(x_1, x_2)$. En tales circunstancias basta determinar los coeficientes de variación (en términos matemáticos las *derivadas*, en términos económicos los *rendimientos marginales*) de f respecto a x_1 y x_2; ello será fácil si se conoce la *historia* de la compañía. A los efectos del ejemplo supóngase que dichos números son c_1 y c_2. Entonces

$$f(x_1, x_2) = c_1x_1 + c_2x_2$$

La figura representa la resolución gráfica para el problema comentado en el texto. El interior del polígono, intersección de los semiplanos señalados por los círculos, que determinan las restricciones (1, 2 y 3) y las condiciones $x_1 \geqslant 0$, $x_2 \geqslant 0$ (4 y 5), es el conjunto de los puntos posible solución. Cada una de las rectas verdes corresponde a un valor de la función criterio (creciendo cuando se alejan del origen). El óptimo corresponde al vértice en que una de esas rectas *toca* sin *cortar* al polígono.

Se tiene en definitiva el programa lineal (con restricciones desigualdadas) siguiente:

Maximizar $f = c_1x_1 + c_2x_2$
con:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leqslant b_1$$
$$x_1 \leqslant b_2 \qquad x_2 \leqslant b_3$$
$$x_1 \geqslant 0,\ x_2 \geqslant 0$$

Dicho problema puede resolverse de varias maneras. Una de ellas, inmediata; las 5 restricciones definen una parte del plano de las (x_1, x_2) que es un polígono; la función f toma, por otra parte, el valor v a lo largo de la recta que tiene, precisamente, como ecuación

$$c_1x_1 + c_2x_2 = v$$

Se da la circunstancia de que, dado que c_1 y c_2 son esencialmente positivos, los distintos valores de v corresponden a rectas paralelas, con v aumentando según van alejándose del origen las mismas. Por tanto, el máximo corresponderá al vértice del polígono por el que pasa la recta más alejada del origen.

El problema puede resolverse por un procedimiento más sofisticado, pero ilustrativo del método general de solución. En efecto: se introducen tres variables x_3, x_4 y x_5 no negativas de *holgura*, de modo que el problema se transforma en el siguiente:

Maximizar $c_1x_1 + c_2x_2$
con

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + x_3 = b_1$$
$$x_1 + x_4 = b_2$$
$$x_2 + x_5 = b_3$$
$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geqslant 0$$

El conjunto de soluciones de las tres ecuaciones más las cinco desigualdades es tal, como puede probarse fácilmente, que el máximo de $c_1x_1 + c_2x_2$ sólo puede conseguirse en puntos de su frontera. Calculando todos los vértices del polígono que forman en el espacio $\mathbb{R}^5$ las citadas soluciones y examinando el valor de $c_1x_1 + c_2x_2$ en ellos podría reencontrarse la solución calculada antes por un método gráfico elemental.

Programación lineal Tras lo dicho se comprenderá fácilmente la definición y posibles significados concretos, según los casos, del *programa lineal* general siguiente:

Maximizar $f = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n$

con

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n = b_1$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n = b_m$$
$$x_1 \geqslant 0,\ x_2 \geqslant 0,\ ...,\ x_n \geqslant 0$$

que, llamando $\mathbf{x}$ y $\mathbf{b}$ a los vectores columna de $\mathbb{R}^n$ y $\mathbb{R}^m$, con componentes $x_1, x_2, ..., x_n$ y $b_1, b_2, ..., b_m$, respectivamente, y utilizando las notaciones matriciales siguientes:

$$\mathbf{c} = (c_1, c_2, ..., c_n)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11}, a_{12}, ..., a_{1n} \\ \cdots\cdots\cdots \\ a_{m}, a_{m2}, ..., a_{mn} \end{bmatrix}$$

y el convenio de que $\mathbf{x} \geqslant 0$ significa que todas las $x_i \geqslant 0$. Se puede poner

Maximizar $f = \mathbf{cx}$
con

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \qquad \mathbf{x} \geqslant 0$$

Se supone, además, que las ecuaciones son linealmente independientes (o, lo que es lo mismo, que también lo son las filas de la matriz $\mathbf{A}$); por tanto $m \leqslant n$. Es más: el caso $m = n$ es trivial ya que, entonces, el sistema $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ tendría una solución única y ésta debiera ser la óptima. Por tanto, en los problemas de interés $m < n$.

La forma normal del *programa lineal* que acaba de establecerse es general, ya que si se trata de un problema de mínimos bastaría cambiar de signo de f, y si alguna de las x_i cumpliere $x_i \leqslant 0$, se cambiaría poniendo $x_i = -x'_i$. En cuanto a la hipótesis de que la forma del programa fuera:

Maximizar $c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_px_p$
con

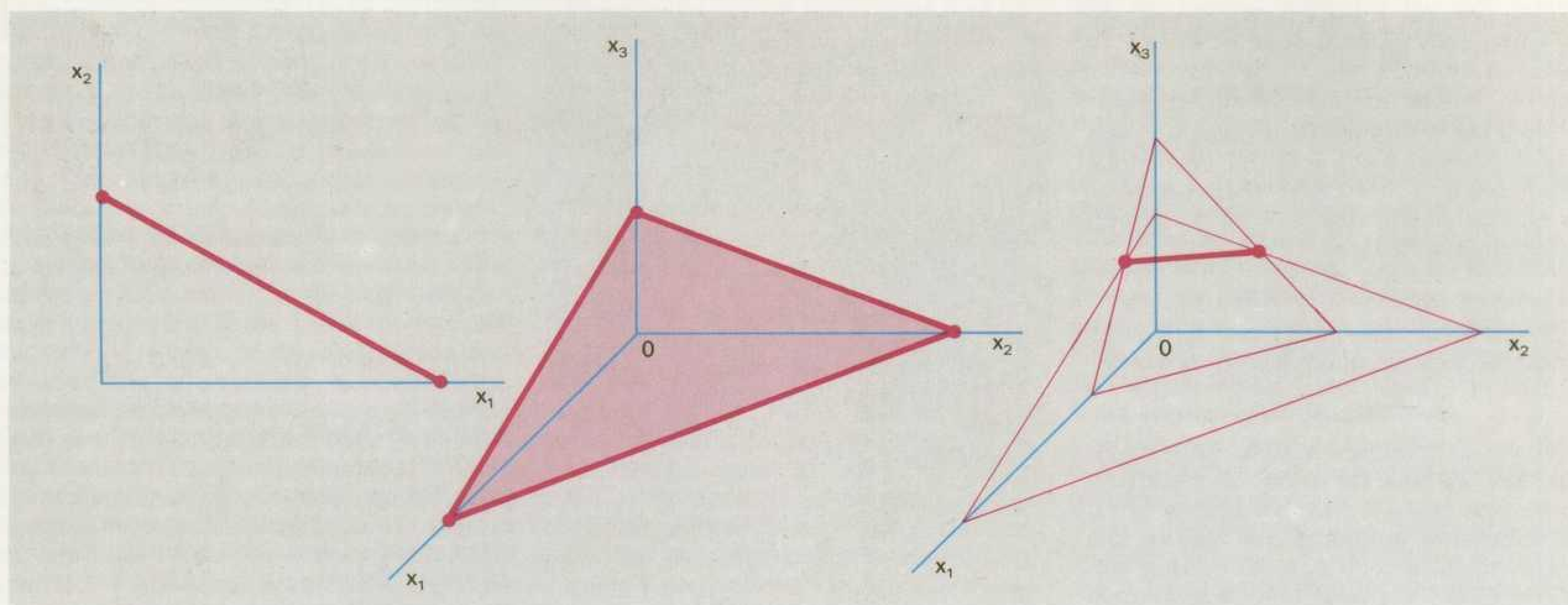
$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1p}x_p (\underset{1}{\leqslant}) b_1$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... a_{mp}x_p (\underset{m}{\leqslant}) b_m$$
$$x_1 \geqslant 0, ..., x_p \geqslant 0$$

siendo el significado de $(\underset{i}{\leqslant})$ según los casos, $(\leqslant)$ ó $(=)$, éste podría convertirse en la forma normal añadiendo un número de variables de *holgura*, $r \leqslant m$, igual al número de signos $(\leqslant)$. Así, las desigualdades se convertirían en igualdades sumando a los primeros miembros de las mismas las variables $x_{p+1}, x_{p+2}, ..., x_{p+r}$ todas ellas no negativas. También quedarían incorporadas a la función f con los coeficientes $c_{p+1} = \cdots = c_{p+r} = 0$. Se tendría así un programa con forma normal, siendo $n = p + r$.

En el caso de que las desigualdades incluyan el signo $(\geqslant)$ en vez del $(\leqslant)$ la conversión en igualdades es trivial también, ya que, en vez de sumar una variable no negativa de holgura bastaría restarla; otra alternativa podría ser multiplicar por (−1) los dos miembros de la desigualdad, invirtiendo entonces el sentido de la misma.

Las ecuaciones de restricción y las desigualdades de las variables definen en el espacio euclídeo $\mathbb{R}^n$ un subconjunto convexo; es decir, tal que si dos puntos pertenecen al mismo también pertenecen al mismo los del segmento que los une. El máximo de la función objetivo, caso de existir, se debe producir en alguno de los puntos de la frontera.

En el caso bidimensional fácilmente y en el tridimensional con dificultad puede visualizarse geométricamente el conjunto convexo de soluciones posibles y el punto extremo en el que se da el máximo. Para valores de n y m grandes, como los que



En un problema de programación lineal en forma *normal* los puntos *soluciones* de las *m* ecuaciones de restricción y de las *n* condiciones adicionales $x_i \geqslant 0$ forman un conjunto convexo en $\mathbb{R}^n$. El óptimo corresponde a alguno de los puntos extremos de la frontera de dicho conjunto: las llamadas *soluciones posibles básicas* (para las que no más de *m* x_i son positivas y las demás nulas). En las figuras adjuntas se muestra de una forma gráfica y para los casos cuya dimensionalidad lo hace factible, ($n = 2, m = 1$), ($n = 3, m = 1$) y ($n = 3, m = 2$) la forma del citado conjunto convexo y de las soluciones posibles básicas. En el primer caso el conjunto es el segmento que interceptan los ejes coordenados en la recta que representa la única ecuación del programa. Las soluciones posibles básicas son los extremos de dicho segmento. En el segundo caso se trata del triángulo que determina el triedro coordenado en el plano representativo de la única ecuación del programa. Las soluciones posibles básicas son los vértices del mismo. En el tercer caso el conjunto convexo de las soluciones es el segmento que interceptan dos de los tres planos coordenados en la recta intersección de los dos planos representativos de las dos ecuaciones del programa. Las soluciones posibles básicas son los extremos de dicho segmento.

se presentan en los problemas técnicos o económicos (decenas y aún centenas de variables y restricciones), hay que recurrir a algoritmos que calculen las llamadas soluciones posibles básicas (soluciones de las ecuaciones, que cumplen que $x_i \geqslant 0$, pero en las que no más de *m* de las x_i son positivas) correspondientes a vértices del citado conjunto convexo y que determinen si corresponden al máximo o no; y, en este último caso, den el método para elegir otra solución posible básica que se *acerque* más a la óptima.

Uno de los algoritmos que cumple ese cometido y que proporciona, en un número finito de pasos, el máximo es el llamado "del simplex", debido a Dantzig, el creador o, al menos, uno de los mayores investigadores en programación lineal. Todos los fabricantes de material informático suelen proporcionar en su *software* programas de ordenador para aplicar el *"simplex"*.

Otros métodos y modelos De la programación lineal propiamente dicha pueden derivarse otros procedimientos de solución de programas matemáticos. Por ejemplo, si las variables son enteras pero la función objetivo y las restricciones son del tipo de las lineales, pueden utilizarse variantes de los métodos de programación lineal para resolverlos.

Es interesante también la llamada *programación lineal paramétrica* que da métodos para los problemas en los que algunos datos, como los coeficientes c_j, no son constantes sino que varían (por ejemplo, con el tiempo).

De todos modos, la extensión más interesante es la *programación no lineal*; es decir, la referente al caso de que la *f* y las g_k sean funciones no lineales. Lo más usual es que *f* sea una función cóncava y las g_k convexas (es el de la llamada programación convexa). Existen teoremas y métodos, por ejemplo los de Kuhn y Tucker, acerca de la misma, aplicando, por un lado, los multiplicadores de Lagrange y, por otra, técnicas análogas a las propias de la programación lineal para buscar el extremo de la frontera de los conjuntos de posibles soluciones.

Conviene señalar, por otra parte, que, a pesar de la similitud nominal, la llamada *programación dinámica* es una técnica completamente diferente. En pocas palabras, se trata de optimizar una función que depende de los estados que un sistema sometido a un proceso secuencial polietápico va adoptando a lo largo del mismo. Para ello se aplica el llamado principio de optimalidad de Bellman que dice que "una estrategia es óptima si y sólo si es óptima cada subestrategia" (se llama *estrategia* a cada una de las posibles secuencias de estados).

Consideraciones adicionales Sería necesario añadir múltiples detalles, alguno de ellos fundamental, y comentarios sobre el tema de la programación matemática, del que sólo se ha dado un simple y somero apunte. A título de notas casi telegráficas cabrían las siguientes:

1) Históricamente, la programación matemática tiene sus raíces en el Análisis clásico. Sin embargo, aparece como tal, al igual que otras muchas técnicas de Investigación operativa en los años de la II Guerra Mundial y su inmediata posguerra, fundamentalmente en Estados Unidos, en conexión con problemas prácticos. Así, en 1941, Hitchcock plantea el "problema del transporte", que, de modo independiente, es planteado por Koopmans en 1947; en 1945, Stigler lo hace con el de la dieta, etc. En 1947, Dantzig presenta una versión general de programa lineal y, además, el *método del "simplex"*. A continuación se extiende la teoría y sus aplicaciones, se desarrolla la programación no lineal, etc. Pronto se advirtió también la existencia de una conexión entre los juegos rectangulares y el "teorema del *minimax*" y los programas lineales; y que, por tanto, los resultados de von Neumann al respecto (el más antiguo de 1928) son un punto de partida para la programación lineal. Igualmente se ha reconocido que los trabajos soviéticos sobre modelos matemáticos de asignación óptima de recursos y planificación estatal de la economía, llevados a cabo principalmente por el matemático y economista Kantorovich y su escuela, pueden considerarse como de programación lineal. Por otra parte, los estudios de Kuhn, Tucker, etc. sobre programación no lineal relacionan esta teoría con la venerable del cálculo de máximos y mínimos condicionados y con el método de los *multiplicadores* de Lagrange. A su vez, se reconoce la existencia de la llamada *dualidad*, en programación lineal, en teoría de juegos y en la aplicación de los métodos *lagrangianos*, que, por otra parte, es susceptible de interesantes interpretaciones en los modelos físicos, económicos, etc. Se trata, esquemáticamente, de que por cada problema de programación, llamado *primal*, puede plantarse otro, llamado *dual*, de modo que maximizar en uno equivale

a minimizar en el otro, para sistemas homólogos de variables denominadas *duales*, e intercambiando las dimensiones *m* y *n* y los coeficientes de las funciones objetivo y de restricciones.

2) En cuanto a la práctica, es interesante señalar que la programación matemática, en particular la lineal, que ha nacido en contacto con las aplicaciones, tiene un panorama amplísimo de las mismas. Desde cuestiones relativamente sencillas, técnicas o empresariales, hasta complejos problemas de estrategia militar o de planificación macroeconómica, pasando por numerosas aplicaciones científicas y tecnológicas, la programación matemática es un útil práctico de la civilización actual. Sus relaciones con las necesidades de la sociedad o sus implicaciones con la informática que, por una parte, permite su aplicación práctica y, por otra, se ha beneficiado de su impulso, son muy abundantes y extraordinariamente complejas.

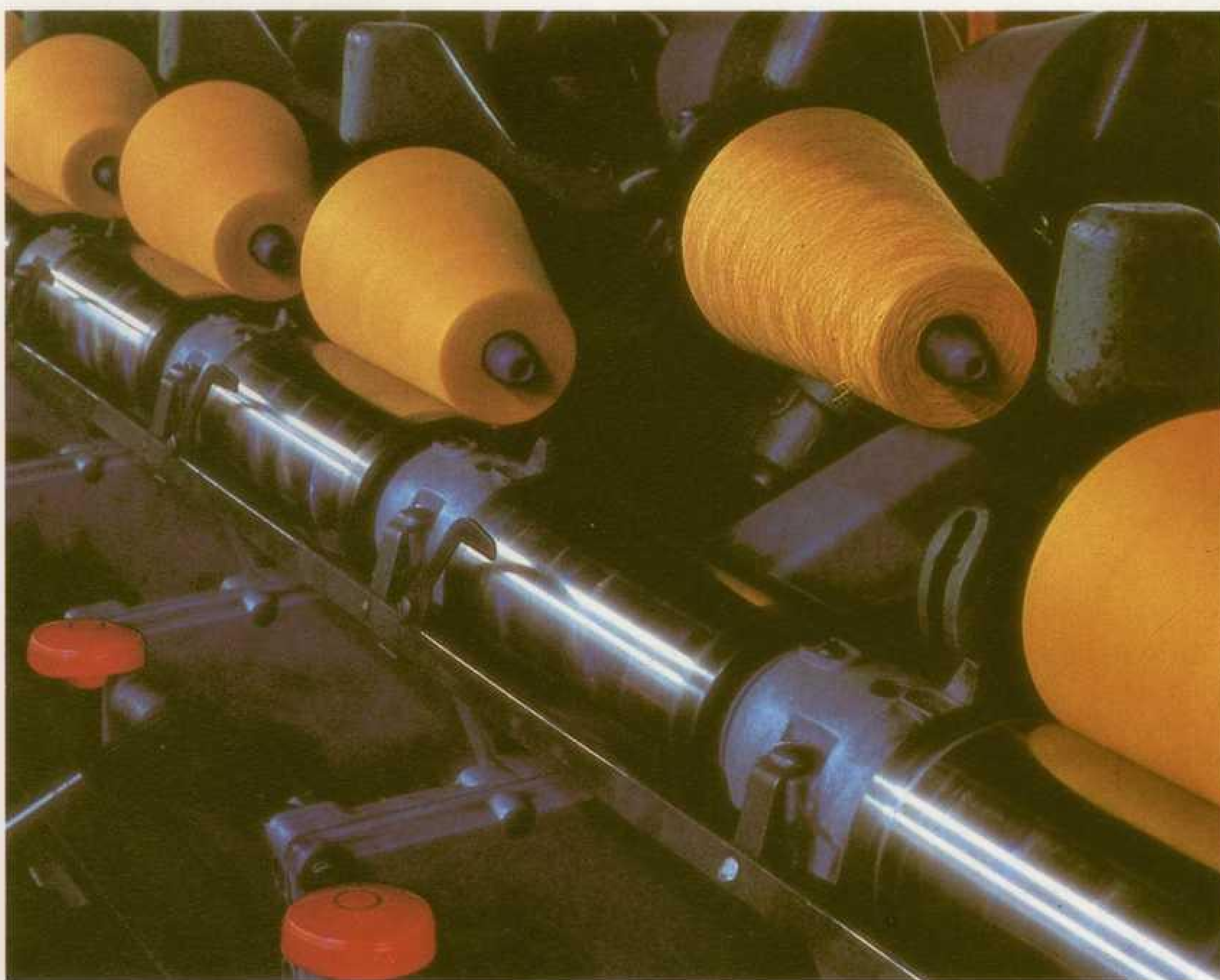
3) En cuanto a las dificultades, conviene señalar algunas. Las primeras, las de la propia modelización; cuando se establece un programa matemático como modelo, para un problema real, es necesario idealizar, abstraer, hacer hipótesis, despreciar efectos secundarios, suponer relaciones sencillas (por ejemplo, lineales) en vez de las más complejas que tal vez se adviertan, etc. Luego, una vez diseñado el modelo, hay que fijar datos y parámetros, para lo que hay que medir quizá con errores, etc., etc.

En una segunda etapa se presentan las dificultades de cálculo; por ejemplo, las debidas a la dimensionalidad (*m* y *n* pueden ser del orden de varios cientos) o los derivados de los errores y disparidades en los datos. La disponibilidad de teorías y algoritmos (como el del *simplex*) y de *paquetes de software* informático resuelven, en principio, la cuestión, pero las dificultades reaparecen en múltiples formas.

Por ejemplo, cuando se trata de aplicar los resultados. ¿Fueron suficientemente sensatas las hipótesis sobre linealidad? ¿Tuvieron consecuencias graves los errores debidos a las aproximaciones teóricas o al proceso de medida? A este respecto es interesante señalar el problema de la *sensibilidad*. Si se calcula la solución que da el óptimo y éste es muy sensible respecto a aquélla (es decir, una pequeña variación en la misma hace que el valor se aleje mucho del óptimo) y ésta depende de los datos también muy sensiblemente, resulta que debido a los errores inevitables en éstos, o a los igualmente insoslayables errores de cálculo, la determinación del óptimo es ilusoria.

Estas y otras muchas cuestiones, que hacen repensar la relación entre matemática y realidad y sobre la aplicación de la primera a la segunda, siguen hoy siendo objeto de estudio.

Véase **Algoritmo; Cálculo numérico; Derivada y diferencial; Investigación operativa; Modelo matemático; Optimización; Teoría de juegos**



La programación matemática, como otras disciplinas contemporáneas, se encuentra en la intersección de dos universos. Uno es el de la matemática pura —álgebra lineal, teoría de funciones, etc.— y el otro el que constituye la investigación operativa, que incluye métodos y modelos muy variados pero unificados por su objetivo: la toma de decisiones, con base matemáticamente fundada, en la industria, los servicios, la defensa, la política, etc. En la gran industria moderna la utilización de las técnicas de investigación operativa es normal. Uno de los casos más frecuentes es el de la aplicación de modelos de programación lineal en asignación de recursos, gestión de la producción, planificación comercial, etc. Otro campo específicamente propicio a la aplicación de las técnicas de programación matemática es el del transporte. Problemas de asignación de tripulaciones, selección de flotas, etc., son resueltos por métodos de programación lineal. Precisamente, uno de los casos muy especiales de programas lineales (aunque históricamente de los primeros) es el llamado "del transporte": consiste en minimizar el coste de transportar un producto del que se dispone en p centros de producción a q centros de distribución. La función criterio es el coste, que depende, por ejemplo, de la distancia; las restricciones vienen dadas por las cantidades disponibles en los centros de salida y por las necesarias en las de llegada.



Progresiones

En numerosos libros se cuenta una vieja leyenda sobre el inventor del ajedrez y el soberano al que servía. Según la misma, éste, encantado por el invento, quiso premiar a su súbdito y, con tal fin, le preguntó cuál era su deseo. El inventor pidió un grano de trigo por el primer escaque, dos por el segundo, cuatro por el tercero y, del mismo modo, el doble de granos por un escaque cualquiera que por el anterior, hasta llegar al que hace el lugar 64 y último. El rey, sorprendido y un tanto indignado, accedió a la petición, no sin antes protestar de la despectiva acogida a su generosidad. Mandó, seguidamente, a sus administradores cumplimentar la entrega. Su sorpresa, cuando recibió la desagradable noticia de que no había en todos los graneros del reino, y aún en los de la Tierra, trigo suficiente, fue mayúscula.

En efecto, el número de granos era exactamente:

$2^{64} - 1 = 18.446.744.073.709.551.615$

Los historiadores de la matemática y del ajedrez otorgan poca credibilidad a la anterior leyenda que, por cierto, aparece atribuida a un rey indio, a un sha persa y hasta a Alejandro Magno —en cuanto al soberano—, y a inventores de variados nombres. Incluso algún autor sitúa como protagonistas del cuento a algún matemático ilustre —por ejemplo, Euler— y a su correspondiente *mecenas*.

Lo que sí ilustra la historieta es la enorme velocidad de crecimiento de las potencias de 2 ó, más general, de la función exponencial de base cualquiera y, también, la forma en que puede resultar enorme la suma de un número no demasiado grande de términos de una progresión aún en el caso de que sus comienzos sean modestos.

El concepto de progresión Se suele dar el nombre especial de *sucesión* a las aplicaciones o funciones de A en B, cuando A es el conjunto de los números naturales, $\mathbb{N}$, o uno de sus subconjuntos finitos. Usualmente, B es uno de los cuerpos numéricos $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$, ó $\mathbb{C}$, aunque puede ser un conjunto cualquiera. Una sucesión queda definida por los valores de B correspondientes a los sucesivos naturales, para los que se utiliza la notación:

$$a_1, a_2, a_3, ..., a_n, ...$$

siendo a_n el elemento de B que corresponde al natural n, al que se denomina término n-ésimo de la sucesión. Cuando $A = \mathbb{N}$, la sucesión es *indefinida* o *infinita*, aunque, si no hay riesgo de confusión, se omite este calificativo; por el contrario, si A es un subconjunto finito de $\mathbb{N}$, se dice que se trata de una sucesión finita.

El nombre de *progresión* se ha reservado tradicionalmente para las sucesiones en las que una ley sencilla da el término a_{n+1} en función del a_n. Tal es el caso de las llamadas *progresiones aritméticas* y *geométricas*, en las que cada término se obtiene sumando o multiplicando, respectivamente, el anterior y un número fijo. Por extensión se utiliza también el término *progresión* para algunos casos de sucesiones más generales en las que el término n-ésimo está dado por una función recurrente de los términos anteriores de la siguiente forma

$$a_n = F(a_{n-1}, a_{n-2}, ..., a_{n-h})$$

De todos modos, es usual que, aun en tales casos, se trate de funciones sencillas y que, por otra parte, el estudio de las llamadas progresiones se limite, salvo alguna excepción, al estudio de problemas relativos a un número finito de términos de las mismas.

Entre dichos problemas los más corrientes son: determinar un término de la progresión en función de otro anterior (en particular, del primero) y las características de la misma y hallar la suma y el producto de n términos:

$$S_n = a_1 + a_2 + \cdots + a_n = \sum_1^n a_i$$

$$P_n = a_1 \cdot a_2 \cdots a_n = \prod_1^n a_i$$

También son frecuentes otros problemas como: determinar las características de una progresión dados varios términos o interpolar los que faltan entre dos dados

Progresiones aritméticas La progresión: $a_1, a_2, ..., a_n, ...$ se llama *aritmética* si la diferencia entre dos términos consecutivos es un número constante, d, llamado razón o diferencia de la progresión. Evidentemente se tiene que: $a_{n+1} - a_n = d$ implica que $a_{n+1} = a_n + d$.

De la definición puede deducirse, elementalmente, la siguiente expresión que permite resolver los problemas básicos:

$$a_k = a_h + (k-h)d$$

Esta no sólo da el término k-ésimo en función del h-esimo, conocida la razón d, sino que, si ésta es desconocida y a_k y a_h dados, permite calcularla y resolver así el problema de la interpolación. Por otra parte, si $k = n$ y $h = 1$ se tiene la expresión del término n-esimo en función del primero, la razón y n:

$$a_n = a_1 + (n-1)d$$

Por otra parte es fácil ver que:

$$a_{k-j} + a_{h+j} = a_k + a_h$$

y, en particular

$$a_{n-j} + a_{1+j} = a_n + a_1$$

que permite calcular la suma de n términos

$$S_n = \frac{a_1 + a_n}{2} n = a_1 n + \frac{n(n-1)}{2} d$$

Se dice que los números $a_1, a_2, ..., a_n$ están en progresión armónica si sus recíprocos $1/a_1, 1/a_2, ..., 1/a_n, ...$ forman una progresión aritmética. Se cumple la propiedad de que cada término de la misma es la media armónica entre su anterior y su siguiente:

$$\frac{2}{a_n} = \frac{1}{a_{n-1}} + \frac{1}{a_{n+1}}$$

Progresiones geométricas La progresión $a_1, a_2, ..., a_n, ...$ se dice que es *geométrica* si el cociente entre un término cualquiera y su precedente es un número fijo, r, llamado razón de la progresión. Se tiene, entonces que, $\frac{a_{n+1}}{a_n} = r$ implica $a_{n+1} = a_n r$

De modo análogo a lo que sucedía con las progresiones aritméticas (cambiando la operación "sumar d" por la operación "multiplicar por r"), se tiene que:

$$a_k = a_h r^{k-h}$$

$$a_{k-j} a_{h+j} = a_k a_h$$

y, en particular,

$$a_n = a_1 r^{n-1}$$

$$a_{n-j} a_{1+j} = a_n a_1$$

Esta última permite calcular

$$P_n = \sqrt{(a_1 a_n)^n} = a_1^n r^{n(n-1)/2}$$

El problema de progresiones geométricas que no tiene análogo en las aritméticas es, precisamente, el de la suma de n términos. Pero es fácil de resolver observando que:

$$S_n r - S_n = (a_1 r + a_1 r^2 + \cdots + a_1 r^n) -$$
$$- (a_1 + a_1 r + \cdots + a_1 r^{n-1}) = a_1 r^n - a_1$$

y, por tanto:

$$S_n = \frac{a_1 r^n - a_1}{r - 1} = \frac{a_{n+1} - a_1}{r - 1}$$

Numerosos problemas técnicos, económicos, etc. se resuelven con tan sencilla fórmula. Por ejemplo, una aplicación inmediata permite encontrar el número de granos de trigo de la leyenda del ajedrez; en efecto:

$$1 + 2 + 2^2 + \cdots + 2^{63} = \frac{2^{64} - 1}{2 - 1} = 2^{64} - 1$$

El paralelismo o analogía entre progresiones aritméticas y geométricas se entiende, en términos *modernos*, por el isomorfismo que existe entre el grupo aditivo:

$$\{..., -nd, ..., -2d, -d, 0, d, 2d, ..., nd, ...\}$$

y el multiplicativo:

$$\{..., r^{-n}, ..., r^{-2}, r^{-1}, 1, r, r^2, ..., r^n, ...\}$$

sin más que asociar r^n y nd para n cualquiera (positivo, negativo o nulo). Entonces el producto en uno se corresponde con la suma en el otro y resulta inmediata la correspondencia entre las fórmulas. Este isomorfismo ha tenido una importancia capital en la historia matemática, ya que la invención por Neper de los logaritmos se debe, precisamente, a la puesta en correspondencia de una progresión

geométrica con una aritmética en la que si r es la base entonces d se hace la unidad. Hoy, todavía, en el lenguaje literario, y a veces en contextos científicos, se dice que "y crece de modo geométrico cuando x lo hace de modo aritmético", para expresar sencillamente que y varía exponencialmente con x (o que ésta lo hace logarítmicamente con aquélla). Ejemplos venerables de tal uso son la ley de Malthus, que dice que "la población crece geométricamente y los recursos aritméticamente", o la de Weber-Fechner, que establece que "las sensaciones crecen aritméticamente cuando los estímulos lo hacen geométricamente".

Cuando una progresión geométrica tiene una razón igual a la unidad, la fórmula antes dada para la suma no es aplicable, pero entonces es obvio que todos los términos son iguales y que: $S_n = na_1$.

Por otra parte, cuando $|r| < 1$ los términos de la progresión son decrecientes en valor absoluto y tienden a cero si n tiende a infinito. Puede, entonces, probarse fácilmente (estudiando el límite de S_n) que es lícito considerar la suma de la progresión indefinida o *serie*. Su suma vale

$$S = \lim_{n\to\infty} S_n = \frac{a_1}{1-r}$$

Esta sencilla expresión tiene numerosas aplicaciones, algunas de ellas en campos insospechadamente cotidianos. Por ejemplo: ¿Cuánto vale hoy una pensión vitalicia de 1 pta anual, pagadera por años vencidos, si el interés es del i%? Evidentemente la peseta que se va a cobrar el año que viene debe "descontarse", de modo que su valor actual es $(1 + i/100)^{-1}$; la de dentro de n años $(1 + i/100)^{-n}$; de ello se deduce que el valor será

$$V = (1 + i/100)^{-1} + \cdots + (1 + i/100)^{-n} + \cdots =$$

$$= \frac{(1 + i/100)^{-1}}{1-(1+i/100)^{-1}} = \frac{100}{i}$$

Dicha solución hubiera podido obtenerse mediante el argumento obvio de que V al i% debe dar anualmente el interés de 1 pta.

Progresiones aritméticas de orden superior A partir de una progresión o, en general, una sucesión cualquiera $a_1, a_2, ..., a_n, ...$ es posible obtener otra por el *algoritmo de las diferencias finitas*, que consiste en formar las diferencias entre elementos consecutivos.

$$\Delta a_1 = a_2 - a_1, ..., \Delta a_n = a_{n+1} - a_n$$

La sucesión así conseguida se llama de las *diferencias primeras* o de *primer orden*. Pero, en general, puede repetirse el proceso y obtener las de orden k:

$$\Delta^k a_n = \Delta^{k-1} a_{n+1} - \Delta^{k-1} a_n$$

Si, por ejemplo, se tuviese la sucesión:

4, 7, 12, 19, 28, 39,...

se tendrían las sucesiones de diferencias:

Δa_n: 3, 5, 7, 9, 11, ...

$\Delta^2 a_n$: 2, 2, 2, 2, ...

$\Delta^3 a_n$: 0, 0, 0,...

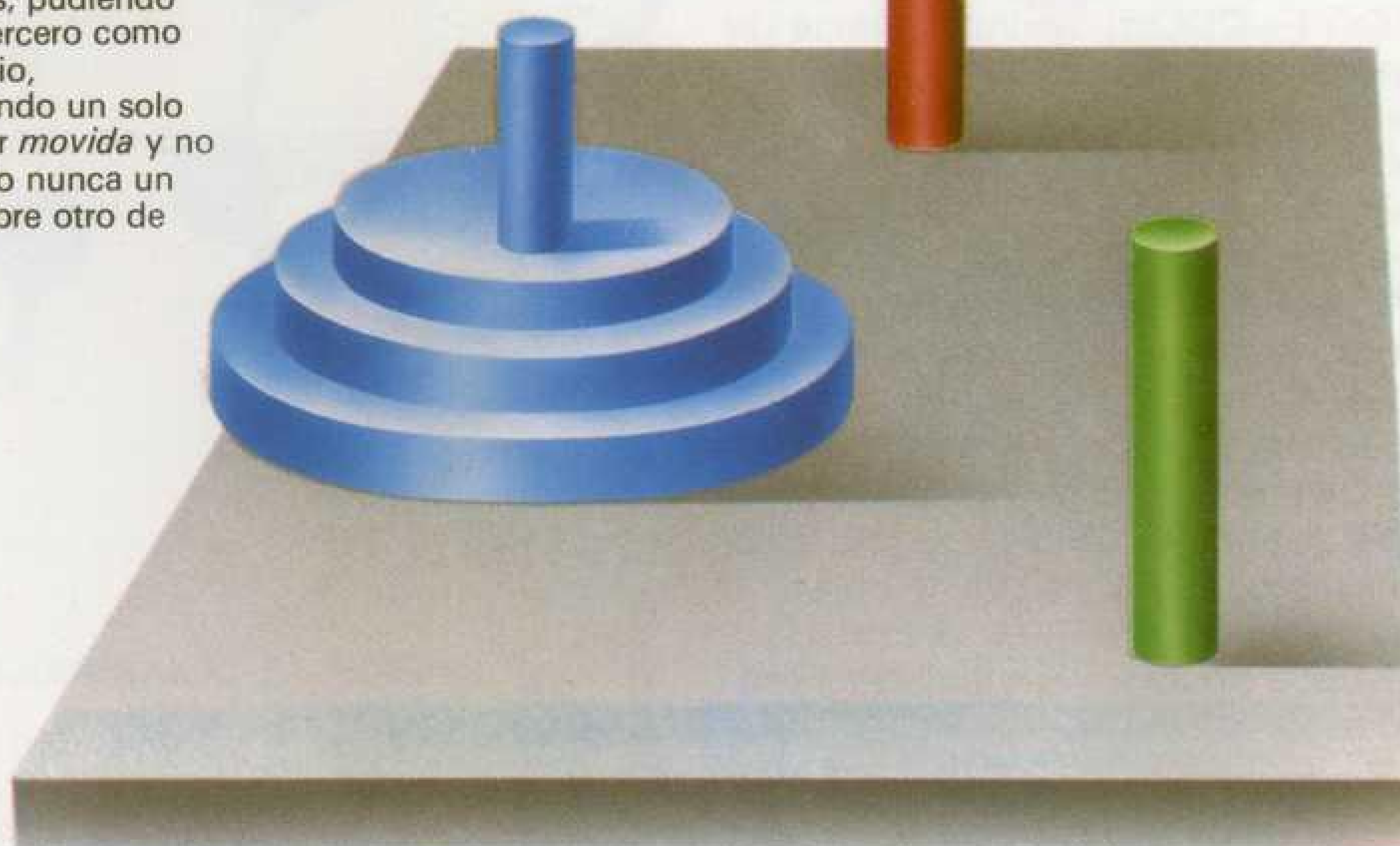
El algoritmo de diferencias finitas permite definir una progresión aritmética como aquella en la que sus diferencias de primer orden son todas iguales (a la razón d) o, también como la que las de segundo orden son nulas. Generalizando, puede definirse como progresión aritmética de orden k a la que sus diferencias de orden $k + 1$ son todas nulas (no habiéndolo sido todas las de orden k). De este modo las progresiones aritméticas ordinarias se consideran como de primer orden.

Las propiedades del algoritmo de diferencias finitas permiten establecer algunos resultados fundamentales. Los más interesantes son los siguientes:

$$a_n = a_1 + \binom{n-1}{1}\Delta a_1 + \cdots + \binom{n-1}{n-1}\Delta^{n-1}a_1$$

$$S_n = \binom{n}{1}a_1 + \binom{n}{2}\Delta a_1 + \cdots + \binom{n}{n}\Delta^{n-1}a_1$$

Se juega a la *torre de Hanoi* pasando todos los anillos ensartados por orden decreciente de radios en uno de los ejes a cualquiera de los otros dos, pudiendo usar el tercero como intermedio, transfiriendo un solo anillo por *movida* y no apoyando nunca un anillo sobre otro de radio menor. La teoría de progresiones geométricas indica que si hay n anillos hacen falta $2^n - 1$ *movidas* para acabar el juego.



Por ejemplo, para la progresión del ejemplo: 4, 7, 12, 19, 28, 39,... se tendría:

$$a_n = 4 + \binom{n-1}{1}3 + \binom{n-1}{2}2 = n^2 + 3$$

$$S_n = \binom{n}{1}4 + \binom{n}{2}3 + \binom{n}{3}2 = \frac{2n^3 + 3n^2 + 19n}{6}$$

Los anteriores resultados son aplicables a numerosos problemas matemáticos y de la vida real. Por ejemplo: ¿Cuánto suman los n primeros números naturales, o sus cuadrados, o sus cubos? Se trata de progresiones aritméticas de órdenes primero, segundo, etc., y es fácil probar que:

$$1 + 2 + \cdots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$1^2 + 2^2 + \cdots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

$$1^3 + 2^3 + \cdots + n^3 = \frac{n^2(n+1)^2}{4}$$

y así sucesivamente. (Conviene señalar que el uso del algoritmo de diferencias no es el único que permite la obtención de dichas fórmulas).

Otros tipos de progresiones Se dice que: $a_1, a_2, ... a_n, ...$ es una progresión *aritmético-geométrica* de orden k si se puede escribir, para todo n, que $a_n = b_n \cdot c_n$ siendo b_n el término n-ésimo de una progresión aritmética de orden k y c_n el de una geométrica de razón r.

Si se establecen las correspondientes expresiones para b_n y c_n, se tiene la de a_n. En cuanto al problema de calcular la suma de los n términos, S_n, es fácil reducirlo al correspondiente para una progresión de orden k-1 observando que:

$$S_n(1-r) = S_n - S_n r = (b_1c_1 + b_2c_2 + \cdots + b_nc_n) -$$

$$-(b_1c_2 + b_2c_3 + \cdots + b_nc_{n+1}) =$$

$$= (\Delta b_1 c_2 + \cdots \Delta b_{n-1}c_n) + (b_1c_1 - b_nc_{n+1})$$

Otro tipo interesante de progresiones son las llamadas por algunos autores *hipergeométricas*, que son aquellas que cumplen (para todo n) que

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} = \frac{\alpha n + \beta}{\alpha n + \gamma}$$

con α, β y γ números fijos cualesquiera siempre que no sean nulos simultáneamente α y β o α y γ. Cuando $\alpha = 0$ la progresión es geométrica de razón $r = \frac{\beta}{\gamma}$.

Puede probarse que la suma de n términos es:

$$S_n = \frac{a_n(\alpha n + \beta) - a_1\gamma}{\alpha + \beta - \gamma}$$

Véase **Cálculo numérico; Combinatoria; Convergencia; Ecuaciones en diferencias finitas; Logaritmo y otras funciones elementales; Series**

Proteínas

Sin las proteínas nuestra existencia no sería posible, o bien lo sería pero de una forma bastante diferente. Las proteínas son constituyentes fundamentales de todos los seres vivos, desde las bacterias unicelulares hasta los complejos animales superiores, incluido el hombre.

Estructura de las proteínas Los elementos químicos que constituyen la mayor parte de las proteínas son el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno (con frecuencia están también presentes el azufre, el fósforo y el hierro). Estos elementos se agrupan según estructuras particulares en las moléculas.

Las proteínas constituyen macromoléculas o polímeros, términos estos que hacen referencia a sus grandes dimensiones y a su estructura conformada por varias unidades. Las moléculas más simples de que están constituidas las proteínas son los aminoácidos, que se encuentran en la Naturaleza en más de cien formas, si bien solamente unas veinte de ellas suelen formar parte de las proteínas.

Los aminoácidos están compuestos por cadenas de átomos de carbono de longitud variable, en las cuales un grupo amínico (—NH_2) está unido a un átomo de carbono vecino perteneciente a un grupo carboxílico (—COOH). La importancia de los grupos funcionales amínico y carboxílico puede ser observada al visualizar dos aminoácidos situados uno a continuación del otro.

El grupo hidróxilo (—OH) correspondiente al extremo carboxílico de un aminoácido se encuentra próximo a uno de los átomos de hidrógeno del grupo amínico de la otra molécula. A través de un proceso denominado *deshidratación* se puede perder una molécula de agua, H_2O, entre el carboxilo del primer aminoácido y el grupo amínico del otro, dando lugar a la formación de un enlace peptídico entre los dos aminoácidos.

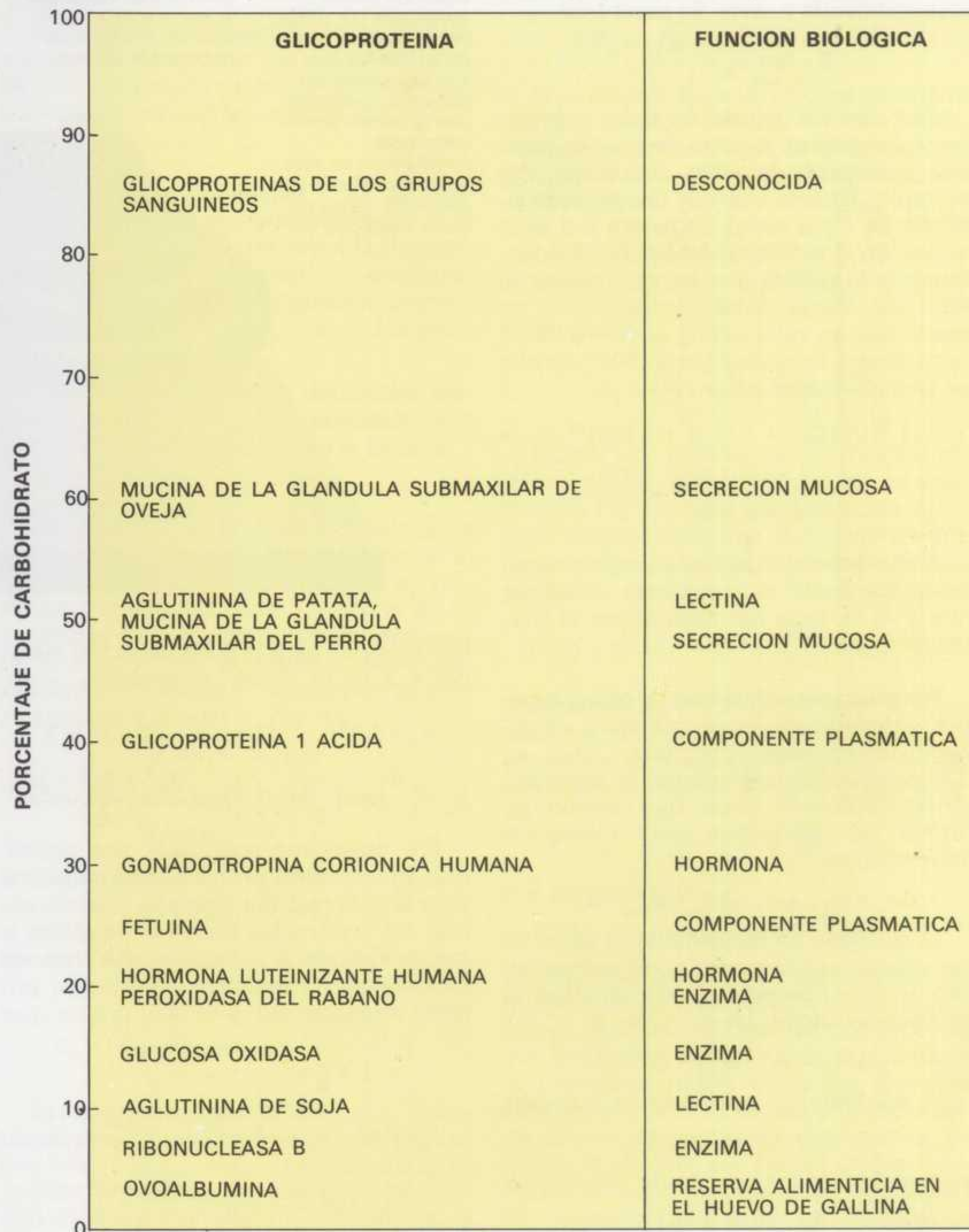
Las dos moléculas así unidas constituyen lo que se denomina un *dipéptido*; muchos de estos compuestos en cadena forman un *polipéptido*, un tipo particular de polímero.

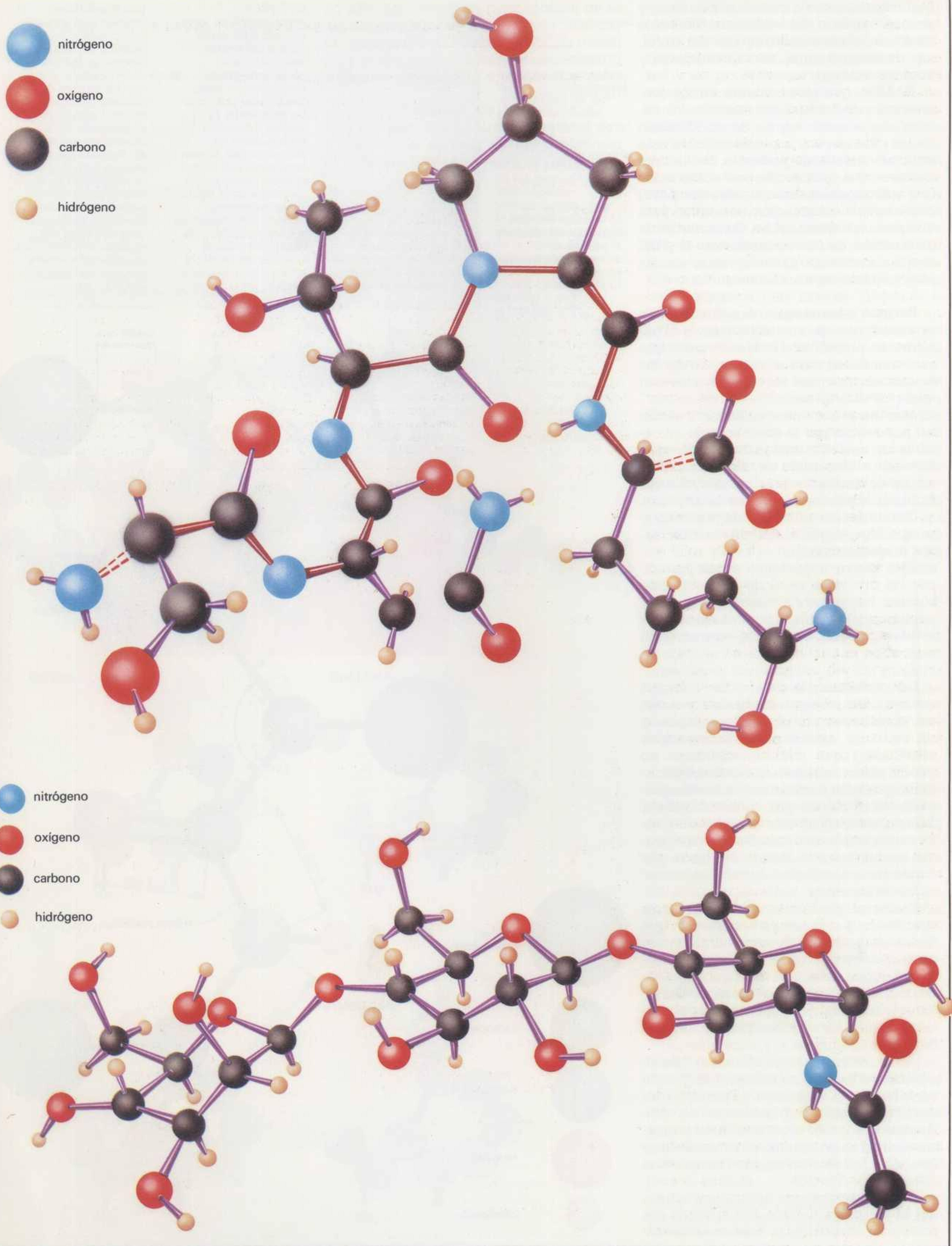
En una molécula proteica pueden estar presentes desde 50 hasta 3.000 unidades de aminoácidos. Si se tiene en cuenta que existen más de 20 tipos de aminoácidos disponibles con una infinidad de posibles combinaciones en el número y en la disposición de las cadenas polipeptídicas, se puede calcular que el número de configuraciones de proteínas posibles resulta prácticamente infinito.

El papel del ADN El crecimiento y la reproducción de las células dependen de un aporte continuo de proteínas. Los resultados experimentales demuestran que nuestro organismo se halla en un constante estado de cambio, destruyendo y reemplazando continuamente sus constituyentes. Para que estos fenómenos sean posibles, debe existir un aporte ininterrumpido de aminoácidos y la célula debe saber

CLASIFICACION MORFOLOGICA DE LAS PROTEINAS	
holoproteínas	proteínas globulares (albúminas, globulinas, histonas) proteínas filamentosas – solubles (fibrinógeno, miosina, actina) – insolubles (colágeno, queratina, fibroína)
heteroproteínas	cromoproteínas (hemoglobina) lipoproteínas, glicoproteínas (hormonas del lóbulo anterior de la hipófisis, haptoglobina) fosfoproteínas (caseína, proteína de la cromatina, fosvitina)

En la tabla de arriba podemos observar una clasificación general de las proteínas y proteínas hormonales, distinguiéndose entre holoproteínas y heteroproteínas. En la tabla de la parte inferior, por el contrario, se observa con más detalle la clasificación de un tipo de heteroproteínas, las glicoproteínas. Se puede apreciar cómo desempeñan funciones fisiológicas de importancia fundamental, mientras que algunas de ellas poseen funciones que no han sido todavía perfectamente aclaradas, como las glicoproteínas de los grupos sanguíneos. En la ordenada se indican los porcentajes de la fracción hidrocarbonada. En la página siguiente, abajo, vemos la estructura del componente glucídico de las glicoproteínas, formado por monosacáridos unidos entre sí para formar oligosacáridos. Arriba, por otra parte, puede observarse la estructura general de una proteína, constituida por aminoácidos unidos entre sí con pérdida de una molécula de agua.




nitrógeno
oxígeno
carbono
hidrógeno
nitrógeno
oxígeno
carbono
hidrógeno

qué proteínas ha de sintetizar con ellos, y en qué cantidad. En solamente 80 días la mitad del contenido completo de proteínas de nuestro organismo es destruido y vuelto a sustituir.

El ADN, que se encuentra en los cromosomas de los núcleos de todas las células, actúa como centro de codificación de las células para la producción de este enorme número de proteínas. Se ha descubierto que grupos de tres nucleótidos (los componentes estructurales del ADN) contienen la información necesaria para designar un aminoácido. Controlando la disposición de los aminoácidos, el ADN regula la síntesis proteica tanto en las plantas como en los animales.

Enzimas y hormonas Los enzimas son proteínas que se encuentran en el organismo en pequeñas cantidades, pero que son esenciales para el desarrollo de las funciones orgánicas sobre las que actúan como catalizadores.

Muchas reacciones químicas pueden ser aceleradas por la presencia de un catalizador, es decir, un agente químico que favorece el desarrollo de una reacción sin alterar el resultado de la misma y sin ser él mismo alterado en el curso del proceso.

Casi todos los enzimas son proteínas y se clasifican según el tipo de reacción sobre la que actúan.

Otro papel importante desempeñado por las proteínas es el de las hormonas. Muchas hormonas (si bien no todas) son proteínas, y cada una de ellas ejerce una acción biológica específica en un órgano específico.

Las proteínas y la dieta De todos los aminoácidos existentes, algunos pueden ser sintetizados por el propio organismo; sin embargo, existen otros (aminoácidos esenciales) que nuestro organismo no puede elaborar, por lo que es imprescindible que se le suministren formando parte de las proteínas que contiene la dieta. Esta característica es la que marca el valor nutritivo de una proteína, que se puede estimar especificando el tanto por ciento de aminoácidos esenciales contenidos en la misma.

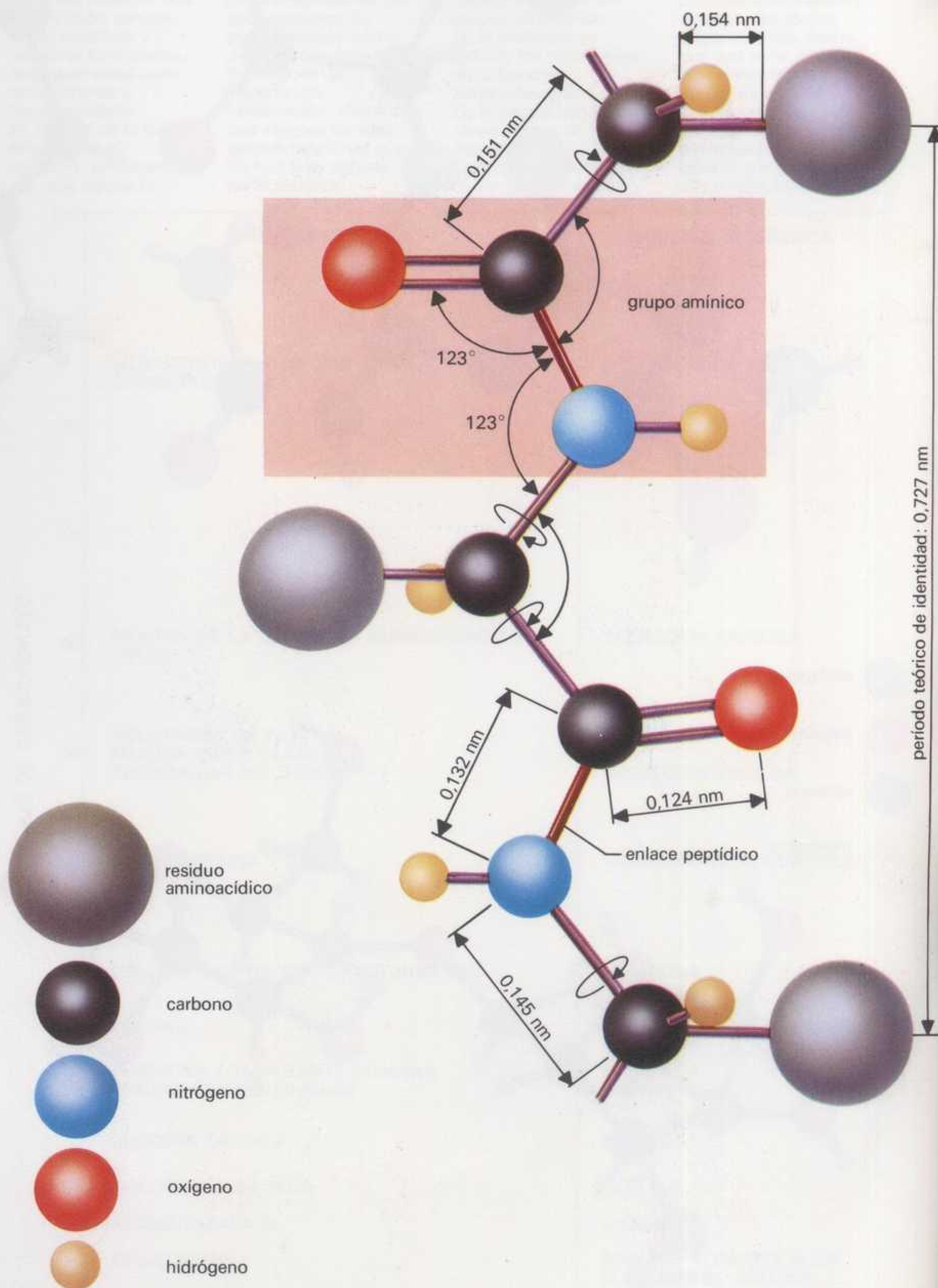
Desde el punto de vista nutritivo es también muy importante el orden en que dichos aminoácidos se encuentran dentro de la cadena peptídica, ya que, al ser rotos, en forma selectiva, los enlaces peptídicos por la acción de los enzimas digestivos, la composición específica de la proteína puede hacerla inadecuada para la digestión.

Las proteínas son el elemento básico de defensa frente a las infecciones, ya que constituyen los *anticuerpos*. Estos son producidos por un determinado tipo de células como reacción a la entrada de sustancias extrañas, *antígenos*, y combinándose con ellos los destruyen por mecanismos directos o indirectos.

En el organismo de un hombre adulto, del 18 al 19% de su peso está formado por proteínas, almacenadas fundamentalmente en los músculos y que se hallan en un proceso de continua renovación: diariamente destruimos de 200 a 300 gramos de proteínas y sintetizamos otros tantos, proceso que requiere una importante cantidad de energía.

La necesidad de suministro proteico con la dieta habitual es una cuestión plenamente aceptada, aunque la cantidad y el tipo de proteínas que debe contener la

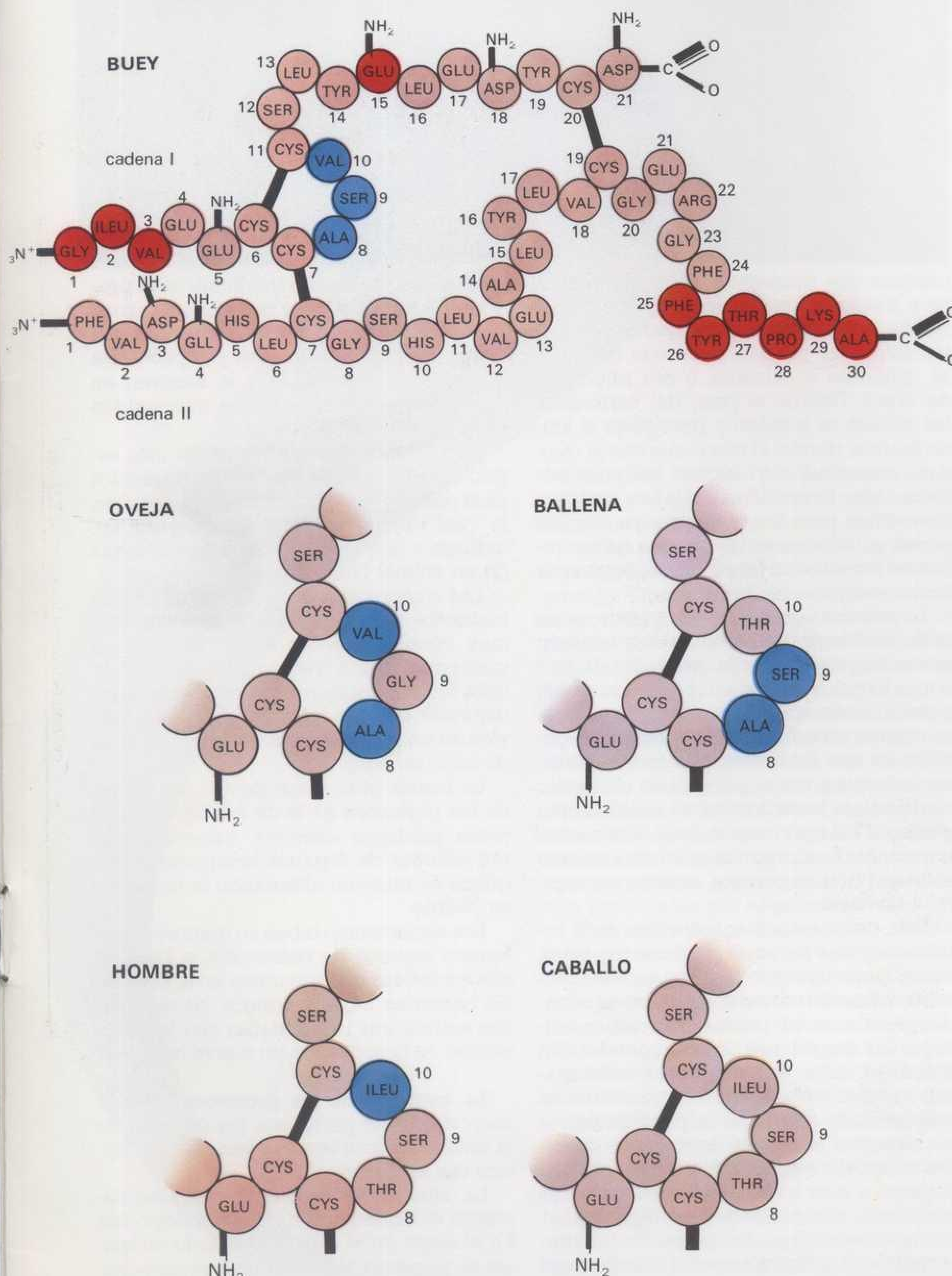
Una de las técnicas más importantes para el análisis de la estructura de las proteínas se fundamenta en la difracción de los rayos X que, desviados por la estructura de la molécula, impresionan una placa fotográfica. A través del análisis de la placa impresionada se logra una reconstrucción teórica del modelo molecular, que posteriormente se confronta con otros datos físico-químicos. De este modo, es posible determinar los ángulos y las distancias que existen entre cada uno de los átomos. Como puede apreciarse en la figura, la distancia entre carbono y nitrógeno en el enlace peptídico es intermedia entre la existente en un doble enlace y en un enlace sencillo. En la figura puede apreciarse también la disposición espacial de la cadena proteica, en este caso hipotética: los residuos aminoacídicos, junto con los átomos de carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, se disponen de forma alternativa en torno al eje formado por los enlaces peptídicos que se encuentran en el mismo plano. El período teórico de identidad, es decir, la distancia entre dos residuos aminoacídicos situados en la misma parte, es en este caso de 0,727 nm.



EJEMPLOS DE PESOS MOLECULARES DE PROTEINAS

Proteínas	Peso molecular	Número de subunidades
creatina-quinasa	80 000	2
galactoquinasa	100 000	4
aldolasa	140 000	4
piruvato-quinasa	237 000	4
aspártico-transcarbaminasa	310 000	6
apoferritina	480 000	20
3-galactosidasa	520 000	4
tiroglobulina	669 000	2
proteína fago f_2	3 620 000	180
proteína del virus de la poliomielitis	5 500 000	130
proteína del virus del mosaico del tabaco	40 000 000	2 130

A la izquierda, cuadro en el que se representan desde pesos moleculares bajos hasta pesos moleculares muy altos, típicos de las proteínas constitutivas de los virus. En el dibujo inferior se ilustra, de arriba a abajo, la estructura de la insulina de buey y las variaciones de los grupos aminoácidos indispensables para la expresión de las propiedades biológicas de la molécula, en relación con otras especies animales (oveja, ballena y caballo) y con el hombre.



misma sigue siendo aún motivo de discusión entre las diferentes esferas científicas.

La mayor parte de las proteínas de origen animal (carne, pescado, leche y queso) y las procedentes de las semillas de soja y de otras leguminosas contienen todos los aminoácidos esenciales. Las necesidades proteicas pueden ser satisfechas también mediante una dieta en la que se combinen distintos vegetales, de modo que todos los aminoácidos esenciales estén presentes al mismo tiempo. El arroz y las judías son ampliamente utilizados en muchas zonas en las que las proteínas de origen animal son escasas o son muy costosas. La integración proteica es una práctica común entre los vegetarianos y entre todos aquellos que desean disminuir la cantidad de carne en la dieta.

El alimento proteico que ingerimos no puede ser asimilado directamente por nuestro organismo, sino que debe ser escindido a través de los procesos digestivos en los aminoácidos que lo componen. Estos aminoácidos son transportados por todo el organismo a través del torrente circulatorio e incorporados por las células en un depósito de aminoácidos que cada una de ellas utiliza para producir sus propias proteínas. Todas las células sintetizan proteínas para la reconstrucción de sus propias estructuras, mientras que algunas de ellas elaboran también proteínas para su utilización en otras partes del organismo.

Las hormonas y los enzimas pertenecen a esta última categoría. La hemoglobina es una proteína que se produce en la médula ósea y que circula por todo el organismo, transportada por los glóbulos rojos, llevando el oxígeno a las células. Cada célula puede tener 2.000 tipos distintos de proteínas para su utilización en la propia célula o en otras.

Aplicaciones industriales En los últimos años se han reconocido las posibilidades de utilización de las propiedades químicas específicas de las proteínas. Actualmente se añaden a los detergentes enzimas que degradan otras proteínas para acrecentar su eficacia. En el campo de la Medicina, la química de las proteínas ha causado ya un impacto considerable. Existen enfermedades causadas por la incapacidad de producir alguna clase de proteínas: los diabéticos, por ejemplo, no pueden producir insulina, pero la fabricación industrial en gran escala de esta proteína permite tratar con ella a esos enfermos y así paliar su deficiencia.

Actualmente, y a medida que las fuentes naturales de proteínas se van enriqueciendo, se empieza a producir alimentos artificiales por medio de bacterias capaces de fermentar materiales tales como aguas residuales y gas natural, generando proteínas unicelulares que, sazonadas adecuadamente, se convierten en pienso para el ganado.

Véase **Alimentación y nutrición; Alimentos; Célula; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Síntesis de proteínas**

Protozoos

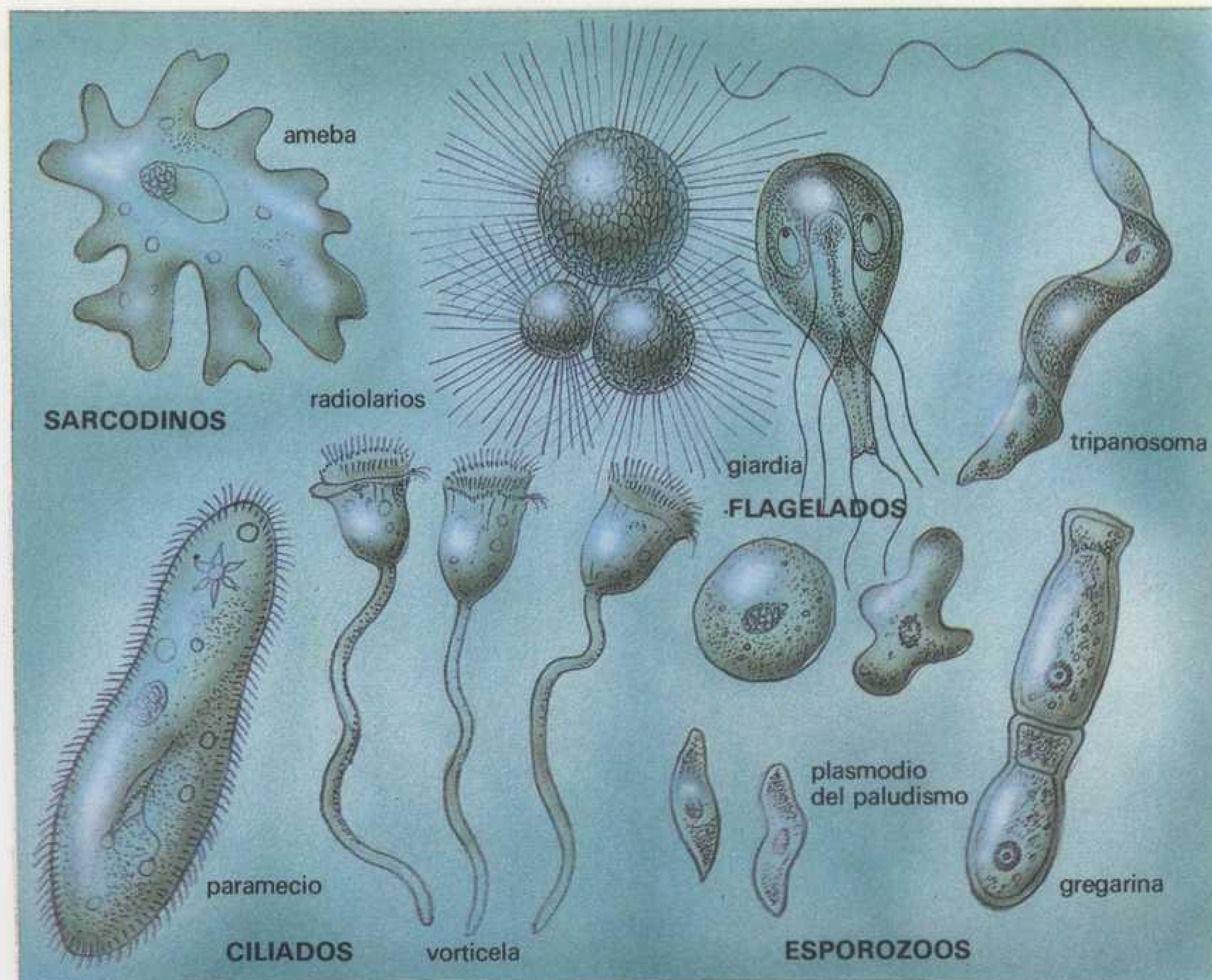
La palabra protozoo significa "primer animal", un nombre que le pareció bastante apropiado al naturalista holandés Anton van Leeuwenhoek, el primero en descubrir con el microscopio, en 1674, estos organismos unicelulares.

Tradicionalmente, los protozoos se han incluido dentro del reino animal, pero debido a que muchos de estos organismos poseen características tanto de vegetales como de animales, numerosos biólogos prefieren considerarlos como un reino separado, el de los *Protistas*.

La estructura de un protozoo es parecida a la de una célula de metazoo, con membrana celular, citoplasma (con diversos orgánulos) y núcleo rodeado por una membrana nuclear. Los protozoos, a pesar de su simplicidad, presentan esa gran adaptabilidad que avala su éxito evolutivo, de forma que se pueden encontrar en una gran variedad de ambientes, en el suelo, en el agua dulce, en el fondo del océano, en la sustancia orgánica en descomposición, en el interior o sobre las plantas y en los animales, desde otros mismos protozoos hasta el hombre. Muchos nadan y viven libremente, mientras que otros son parásitos estrictos, con una marcada especificidad por los animales que infectan.

Algunos protozoos son sésiles, con fijadores que les permiten adherirse a un sustrato. En este tipo de protozoos es frecuente el desarrollo de una convivencia colonial, en la que muchos individuos de la misma especie se asocian y forman estructuras características.

Numerosos protozoos han desarrollado también la capacidad de formar estructuras de reposo, generalmente resistentes a la desecación y a algunos agentes nocivos. Estas estructuras, denominadas *cistos*, ayudan al organismo a soportar períodos desfavorables, a la vez que contribuyen a la dispersión de la especie.



Clasificación La locomoción en los protozoos tiene lugar mediante procedimientos distintos, lo que permite que su clasificación se haga, en gran medida, atendiendo al tipo de órgano locomotor. Según este criterio, los protozoos se suelen clasificar en cuatro grandes clases. La primera de ellas es la de los *Sarcodinos*, a la que pertenecen las amebas. Estos protozoos se mueven gracias al impulso generado por las expansiones o prolongaciones de su propio cuerpo. En realidad cada una de estas expansiones, llamadas pseudópodos, es una masa de protoplasma que se manifiesta hacia afuera del cuerpo del animal. En algunas especies los pseudópodos son amplios y lobados (amebas), mientras que en otras son finos y abundantes. Este tipo de movimiento, denominado *ameboide*, lo presentan también algunas células de las esponjas (amebocitos) y los glóbulos blancos en los vertebrados.

A la clase de los sarcodinos pertenecen también los *Radiolarios* y los *Foraminíferos*; son organismos exclusivamente marinos que poseen un caparazón externo a través del cual salen largos pseudópodos filamentosos. Los caparazones están formados por una sustancia gelatinosa, quitinosa o calcárea, o por pedacitos de arena. Debido al peso del caparazón, las células se hunden y precipitan al fondo marino, donde, al morir, sus restos quedan acumulados y forman estratos pétreos. Los foraminíferos fósiles resultan muy útiles para los geólogos, ya que les permiten relacionar las edades de las rocas sedimentarias. Contribuyen también a las investigaciones petrolíferas.

La segunda gran clase de protozoos es la de los *Mastigóforos*, conocidos también como *Flagelados* por la presencia de uno o más flagelos largos; estos flagelos sirven para la locomoción, la captura de alimento y como receptores sensoriales. El flagelo no es una formación puramente externa, sino que a veces penetra en el interior de la célula hasta insertarse en el propio núcleo. El flagelo actúa helicoidalmente, imprimiendo al organismo un movimiento rotatorio que le permite avanzar en espiral a través del agua.

Esta clase es la más estrechamente relacionada con las algas. Algunas especies, como las del género *Euglena*, poseen clorofila y pueden sintetizar su alimento mediante la luz solar, por lo que muchos biólogos las consideran como vegetales. Sin embargo, estos flagelos están relacionados con las formas animales, como se ha comprobado al inducir la pérdida de los cloroplastos mediante sustancias químicas o radiaciones. Cuando se somete una *Euglena* a este tratamiento, desarrolla una existencia que es sin duda de tipo animal.

La tercera clase del grupo de los protozoos recibe el nombre de *Ciliados*, cuya característica principal reside en que su movimiento se realiza mediante unas pestañas vibrátiles o cilios dispersos por toda la superficie de su cuerpo. Los cilios son filamentos cortos, formados por proteínas, que rodean a la célula y la mueven en cualquier dirección, a la vez que ayudan en la captura del alimento.

Los ciliados son los protozoos más especializados y poseen varios orgánulos para realizar las distintas funciones vitales, lo cual implica una división del trabajo análoga a la que existe entre los sistemas de un animal pluricelular.

Los ciliados más conocidos son, probablemente, los del género *Paramecium*. Son muy comunes en las aguas dulces que contienen restos vegetales en putrefacción. En el laboratorio se multiplican rápidamente en una infusión preparada hirviendo un poco de paja o algunos granos de trigo en agua.

La cuarta gran clase dentro del grupo de los protozoos es la de los *Esporozoos*, todos parásitos estrictos, caracterizados por carecer de órganos locomotores. Algunos se mueven alternando la forma de su cuerpo.

Los esporozoos deben su nombre a que forman esporas de resistencia, si bien no son auténticas esporas como en el caso de las bacterias, algas y hongos: en realidad son estructuras relacionadas con la transmisión de la especie a un nuevo huésped.

La nutrición de los protozoos En la mayoría de los protozoos, los órganos de la locomoción sirven a la vez para la captura del alimento.

La ameba, en efecto, rodea sencillamente el alimento con dos pseudópodos. En el lugar en el que ha quedado atrapado el alimento se forma una vacuola alimentaria y crece una nueva membrana



En el dibujo de la página anterior vemos algunos representantes de las cuatro clases de los Protistas o Protozoos: los *Sarcodinos*, que carecen de órganos de locomoción pero son capaces de emitir prolongaciones, los pseudópodos, que les sirven para moverse y para capturar las algas y bacterias con las que se alimentan; los *Flagelados*, con apéndices similares a látigos; los *Ciliados*, con el cuerpo recubierto de minúsculos cilios, y, por último, unos Protistas parásitos, los *Esporozoos*. Las formas de los Protozoos pueden ser de lo más variado y, como es natural, sólo se pueden apreciar al microscopio, ya que algunos de ellos sólo miden varias micras, alcanzando otros las 200 micras. En el dibujo de esta página se ha reproducido el *Stentor* (protozoo cilióforo), con dimensiones "gigantescas". Su nombre se debe a su extraordinaria forma de trompa, abierta por un lado y afilada por el otro extremo, lo que hizo que se denominase como al heraldo griego de los tiempos de la guerra de Troya, cuya voz potente y aguda se podía comparar a la de cincuenta hombres juntos.

celular para incluir a las partículas en la célula. En el interior de la vacuola existen enzimas que descomponen el alimento, lo mismo que en el estómago de los animales superiores durante el proceso de la digestión. El alimento no digerido se expulsa a través de la membrana celular por un punto cualquiera de su superficie. Este tipo de alimentación recibe el nombre de *fagocitosis*.

En los protozoos que poseen cilios, el mecanismo de la alimentación es diferente. En ellos, el movimiento de los cilios crea una corriente que transporta las partículas hasta la boca (citostoma) del protozoo. Allí se crea una vacuola digestiva en la cual el alimento es digerido por medio de enzimas. Los residuos indigeribles son expulsados por el ano de la célula.

En el caso de los flagelados la alimentación consiste en la captura de pequeños organismos, que son ingeridos por la citofaringe y digeridos en las vacuolas digestivas del citoplasma. Sin embargo, este tipo de alimentación se da raramente en aquellos flagelados con capacidad fotosintética, como es el caso de *Euglena*, que, o bien sintetizan su propio alimento (son autótrofos), o bien absorben las sustancias nutritivas del agua donde viven (heterótrofos).

Hasta ahora hemos descrito las formas de alimentación de los protozoos de vida libre. En los protozoos parásitos estas formas dependen no del tipo de locomoción, ya que son inmóviles en la fase adulta, sino del tipo de hospedador o del lugar concreto del organismo huésped donde se alojen. Según esto, pueden alimentarse de otras células, de restos, o bien absorber las sustancias nutritivas a través de la superficie del cuerpo.

La reproducción El tipo de reproducción más simple, que dura aproximadamente una hora, es el de la ameba, que tiene lugar por *bipartición*. Cuando la ameba alcanza un cierto tamaño, el cuerpo celular se hace esférico y se cubre de pseudópodos cortos, luego se alarga y el núcleo se divide por *mitosis*, situándose cada nucleolo a un lado de la ameba. Finalmente ésta se divide por el centro y las dos partes separadas forman las amebas hijas. Este tipo de reproducción es asexual, ya que no hay intercambio de material genético.

El paramecio también se reproduce por bipartición, aunque experimenta además varios tipos de reorganización nuclear que se pueden considerar como reproducción sexual, ya que hay intercambio de material genético. La bipartición del paramecio requiere unas dos horas para completarse y puede ocurrir de 1 a 4 veces cada día. De esta forma pueden producirse más de 600 generaciones por año, por lo que se dice que si sobrevivieran todos los descendientes de un individuo, pronto alcanzarían el volumen de la Tierra.

Cuando el paramecio lleva un determinado tiempo reproduciéndose por bipartición, las células, que utilizan siempre el mismo material genético, van perdiendo vitalidad; para renovar la dotación genética se acoplan sexualmente en un proceso complicado denominado *conjugación*.

La complejidad de la reproducción sexual de los protozoos parece indicar que, aunque son unicelulares, han alcanzado en muchos casos un desarrollo evolutivo importante.

Importancia de los protozoos El estudio de los protozoos es de vital importancia para muchas discipinas científicas, ya que, entre otras razones, la célula es la base de la vida.

Gran número de protozoos causan enfermedades graves en los animales y en el hombre. La enfermedad del sueño, por ejemplo, se debe a un flagelado frecuente en las regiones tropicales, *Trypanosoma gambiense*, transmitido de una persona a



Aquí vemos varios protozoos de las clases Sarcodaria y Ciliada. En esta página aparecen entre otros: *Paramecium, caudatum, Euplotes, Stylonychia, Codonella,* este último marino y no de agua dulce como el resto de los Ciliados dibujados aquí; *Vorticella, Carchesium* y *Zoothamium,* forman colonias de individuos unidos entre sí por sus pedúnculos.

otra por medio de la mosca tsetsé. La disentería amebiana, caracterizada por una situación diarreica, está causada por un sarcodino, la *Entamoeba histolytica,* que se encuentra en el intestino humano. Otro parásito importante es el esporozoo *Plasmodium*, cuyas diferentes especies son causantes del paludismo o malaria.

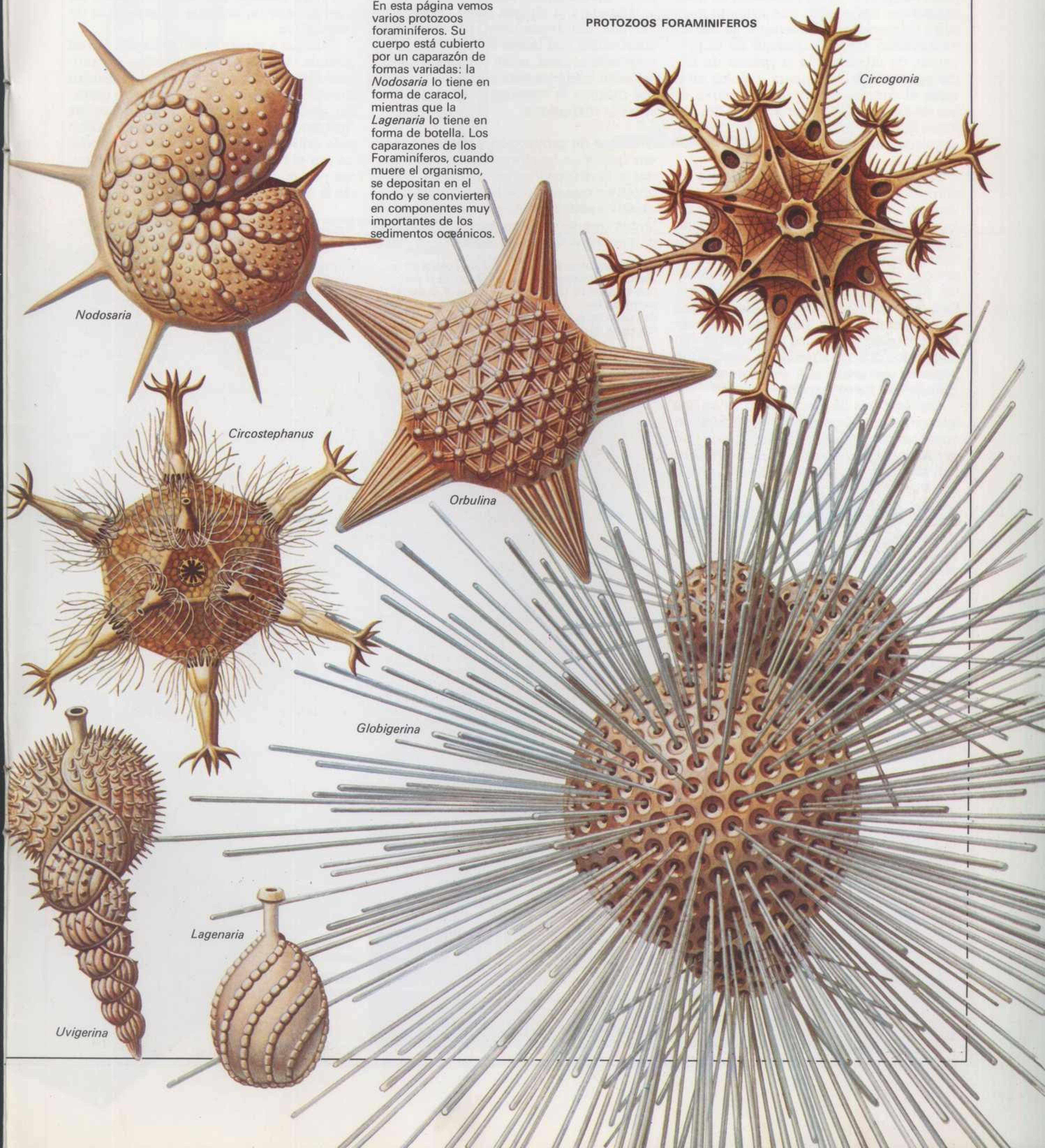
La *marea roja*, fenómeno que se puede observar en aguas subtropicales, se debe a una enorme acumulación de protozoos flagelados del género *Gymnodinium*. Estos organismos tiñen el agua de color rojizo, y segregan una sustancia que, en grandes cantidades, puede resultar altamente tóxica para los peces.

El perfecto estado de conservación en que se encuentran los restos fósiles de algunos de estos protozoos ha hecho posible el desciframiento de gran parte de su historia evolutiva.

Véase **Célula; Gen**

En esta página vemos varios protozoos foraminíferos. Su cuerpo está cubierto por un caparazón de formas variadas: la *Nodosaria* lo tiene en forma de caracol, mientras que la *Lagenaria* lo tiene en forma de botella. Los caparazones de los Foraminíferos, cuando muere el organismo, se depositan en el fondo y se convierten en componentes muy importantes de los sedimentos oceánicos.

PROTOZOOS FORAMINIFEROS



Proyector de diapositivas

El proyector de diapositivas es un aparato sencillo que ha permitido a los aficionados a la fotografía reproducir fielmente y a gran tamaño las escenas fotografiadas. Sus partes fundamentales son: un foco de luz, un condensador, el soporte para las transparencias o diapositivas y el objetivo. Para proyectar la imagen, las diapositivas, previamente colocadas en unos cargadores de plástico que avanzan merced a un mecanismo de arrastre, se van introduciendo automáticamente en el proyector, de manera que al apretar un botón se enciende la lámpara y su luz atraviesa el condensador y la diapositiva. El haz de luz sale al exterior a través del objetivo que proyecta la imagen, enfocada y ampliada, sobre la pantalla.

Fuente luminosa Los proyectores de diapositivas utilizan generalmente una lámpara incandescente o una lámpara de arco para proporcionar la intensidad de iluminación necesaria. Las lámparas incandescentes tienen el inconveniente de tener que funcionar a temperaturas muy altas para proporcionar la luz necesaria. Bajo estas condiciones de funcionamiento las lámparas suelen tener una vida muy breve, a pesar de que los proyectores van equipados con un sistema de ventilación por aire que evita que se sobrecaliente cuando está funcionando.

Las lámparas de arco proporcionan una intensidad de iluminación muy alta en comparación con la energía eléctrica que consumen. Esto es debido a que funcionan según el principio de ionización de los átomos de un gas, como el xenón, cuando es excitado por una descarga eléctrica. La lámpara de xenón de alta presión se utiliza mucho porque produce una luz parecida a la solar y emite menos radiaciones infrarrojas: en consecuencia, el color de las imágenes es más real, y al no generar calor, se puede prescindir de los ventiladores.

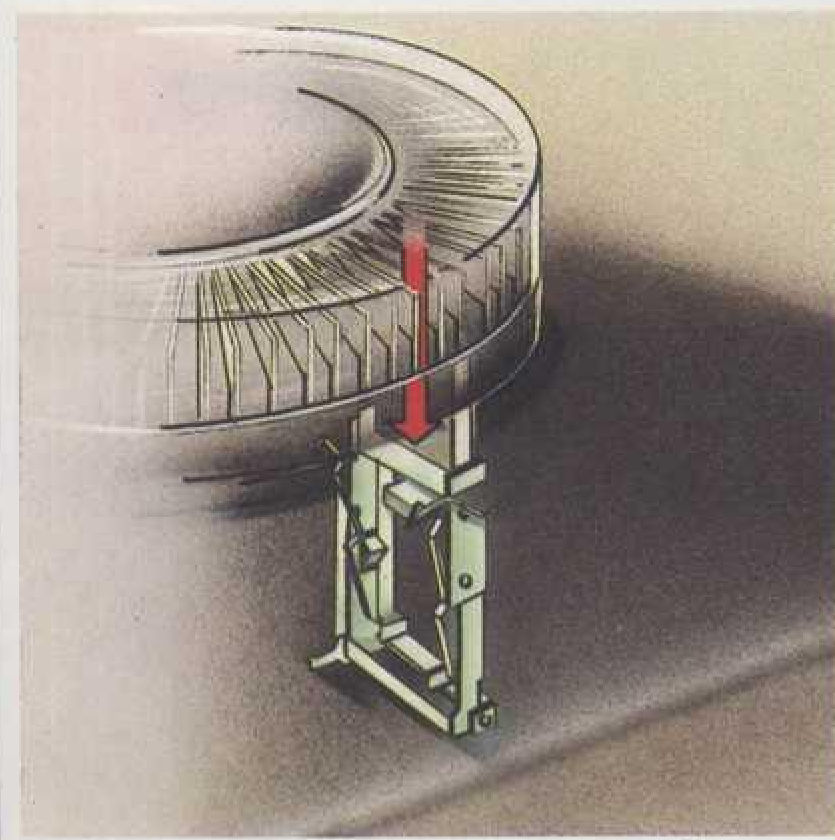
Condensador Los intentos de ver las diapositivas sin proyector, simplemente mirándolas al trasluz con una lámpara de mesa o de techo, nunca dan resultados satisfactorios. La eficacia de la luz proporcionada por la lámpara del proyector se acrecienta con la utilización de lentes que condensan los rayos sobre las lentes de proyección (objetivo). Las lentes del condensador recogen la luz de la fuente luminosa y la dirigen hacia la diapositiva y hacia las lentes de proyección. Los condensadores de reflexión, que están formados por un espejo de aluminio o de vidrio cubierto de aluminio, recogen toda la luz de la lámpara y la dirigen hacia la diapositiva. Los condensadores de refracción, construidos con lentes de cuarzo o vidrio resistente al calor, están colocados junto a la fuente luminosa para que, de este modo, sea máxima la cantidad de luz que atraviesa la diapositiva.

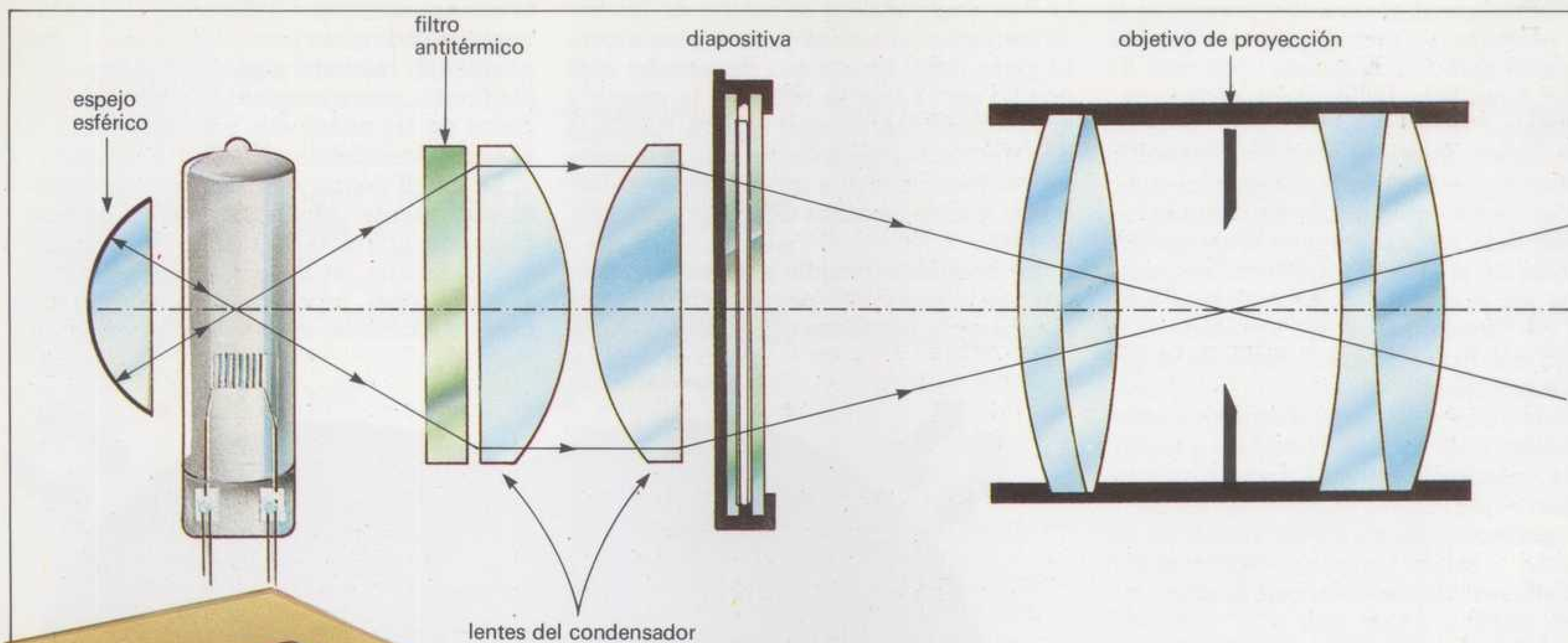
Lentes de proyección y pantalla Una vez que la luz ha atravesado el condensador y la diapositiva, se encuentra con el objetivo, que la dirige hacia la pantalla. El objetivo está formado por un conjunto de lentes que se pueden mover, automática o manualmente, hacia adelante o hacia atrás con el fin de enfocar la imagen. Algunos aparatos tienen lentes "zoom", con las que el operador puede regular el tamaño de la imagen en la pantalla sin mover el proyector y sin desenfocarla. Los proyectores tienen patas ajustables para centrar la imagen en la pantalla y muchos de ellos poseen mando a distancia con cable para realizar, por control remoto, las operaciones de enfoque y de cambio de diapositiva.

Aunque a menudo se utiliza una pared pintada de blanco, las pantallas de proyección pensadas para este fin presentan muchas ventajas, ya que tienen un elevado grado de reflectividad para que las imágenes proyectadas aparezcan mucho más brillantes. Las reflectividad se produce por el reflejo de la luz en unas diminutas perlas de vidrio que cubren el dorso de la tela que forma la pantalla.

Véase **Cámara fotográfica; Cámara y proyector cinematográficos; Objetivo fotográfico**

En los esquemas de abajo, mecanismos de tipo carrusel de un proyector de diapositivas. A la izquierda, el dispositivo que las coloca en la posición ideal para el enfoque. A la derecha, esquema de la óptica de iluminación.





Arriba, el esquema de óptica de un proyector. La lámpara proyecta la luz en todas las direcciones, por lo que se coloca detrás de ella un espejo esférico que la refleja hacia adelante. La luz pasa después por un filtro de vidrio antitérmico que absorbe la radiación infrarroja que produce la lámpara de filamento. El condensador está formado por dos lentes, que hacen que el haz de rayos que atraviesa la diapositiva sea paralelo y homogéneo, a la vez que lo hace converger hacia el objetivo.

transformador
obturador (oscurece la pantalla durante el cambio de diapositiva)
objetivo (intercambiable)
brazo de expulsión de diapositivas
mando de enfoque manual
bastidor para el cambio manual de diapositivas
diente que gobierna el avance del carro
carro de diapositivas
engranaje principal (gobierna el carro de diapositivas)
filtro antitérmico

A la izquierda, el esquema del sistema óptico y mecánico de un proyector de diapositivas de cargador recto. Este tipo de óptica dificulta la introducción de las diapositivas en el espacio entre condensador y objetivo, así como su extracción. El enfoque es manual, mientras que el cambio de diapositivas se puede realizar de forma manual o automática, con un motor eléctrico. Los modelos más sofisticados tienen también la posibilidad de cambiar la diapositiva y, si está desenfocada, enfocarla automáticamente.

Psiquiatría

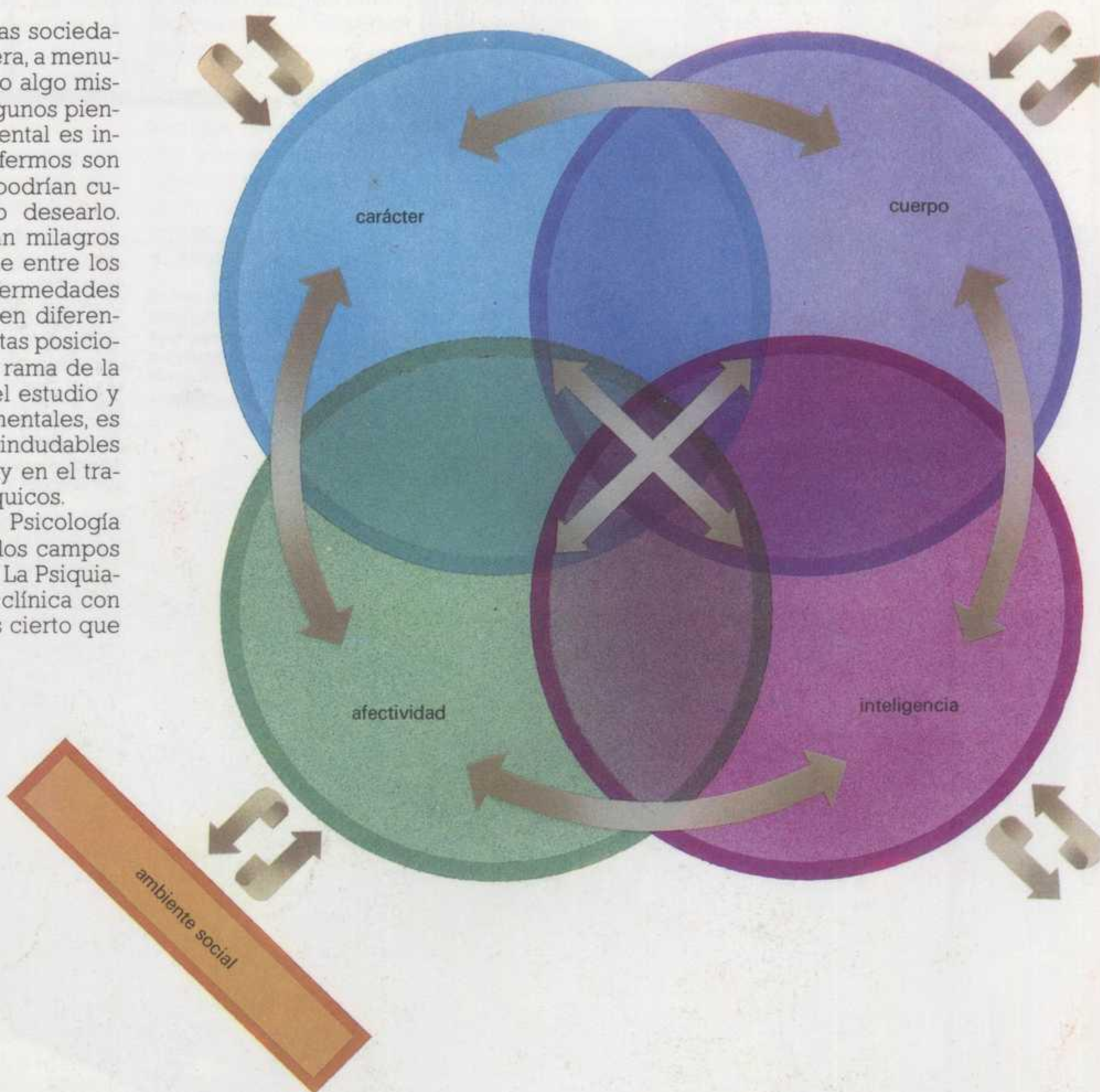
Según algunas sociedades primitivas, la enfermedad mental es una forma de posesión demoníaca, tratada —en caso de que lo fuese— con el castigo, la magia, los hechizos o los rituales. Algunas de estas aproximaciones terapéuticas parecen aportar algún beneficio al enfermo, dado que el estado mental puede cambiar, siquiera sea temporalmente, como consecuencia de la acción sugestiva. Sea como fuere, es importante subrayar que este tipo de "tratamientos" no conduce a la comprensión de lo que constituye la enfermedad mental.

Todavía hoy, en las modernas sociedades industrializadas, se considera, a menudo, la enfermedad mental como algo misterioso y que inspira temor. Algunos piensan que cualquier trastorno mental es incurable, y según otros, los enfermos son en realidad simuladores que podrían curarse ellos mismos con sólo desearlo. Otros, por el contrario, esperan milagros de la Psiquiatría, opinando que entre los trastornos mentales y las enfermedades infecciosas ordinarias no existen diferencias cualitativas. Ninguna de estas posiciones es correcta. La Psiquiatría, rama de la Medicina que tiene como fin el estudio y tratamiento de los trastornos mentales, es reciente, aunque ha logrado indudables progresos en la comprensión y en el tratamiento de los trastornos psíquicos.

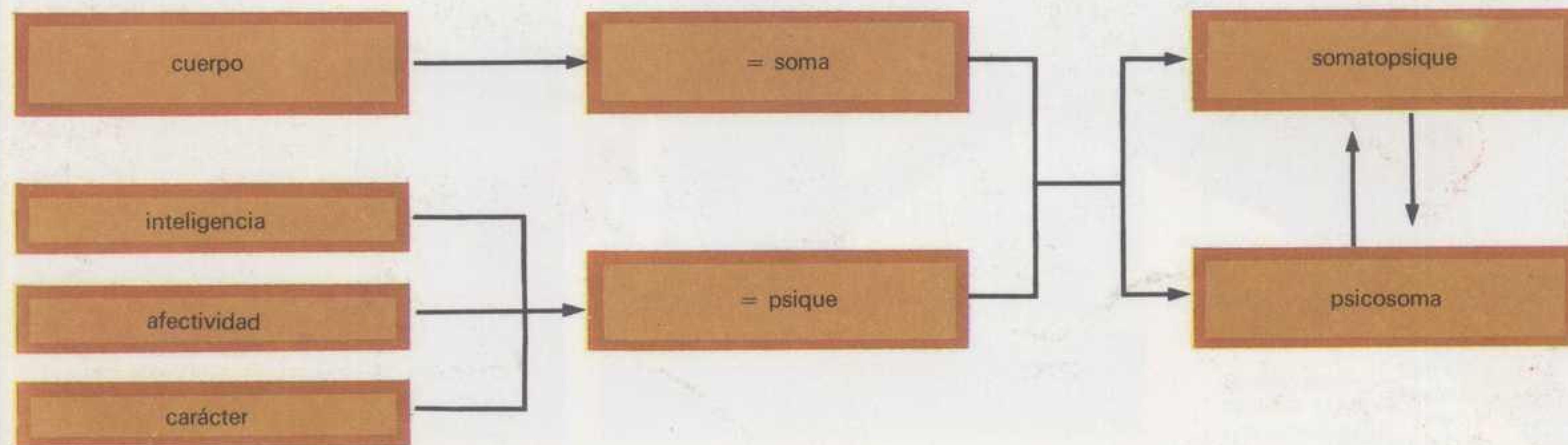
Aunque la Psiquiatría y la Psicología tienen mucho en común, sus dos campos de investigación no coinciden. La Psiquiatría se basa en la experiencia clínica con el enfermo mental. También es cierto que la Psicología clínica se ocupa de las enfermedades psíquicas y de su tratamiento, pero tiene un campo de estudio más amplio en lo que se refiere a la mente y al comportamiento, que abarca desde la percepción al pensamiento, desde el comportamiento animal a las relaciones industriales y a los estadios del desarrollo intelectual.

La Psiquiatría estudia y trata los trastornos emotivos y del pensamiento (como, por ejemplo, la tristeza o la ansiedad, la autoestima excesiva o deficitaria), los pensamientos alucinatorios o confusos, y los problemas relativos a las relaciones sociales (como, por ejemplo, los repetidos fracasos en las relaciones interpersonales y el comportamiento antisocial o criminal).

Es difícil definir con precisión la enfermedad mental. Muchos sectores críticos rechazan incluso la utilización que se hace en Psiquiatría de la terminología médica y consideran problemáticos el uso de ciertos términos, como "enfermedad" y



El modelo superior intenta sintetizar los componentes que forman parte de la constitución de nuestra personalidad: la influencia de los factores internos (hereditarios, orgánicos) se mantiene en equilibrio con los psicológicos, unidos a la inteligencia, afectividad y carácter. Todos estos factores, a su vez, están íntimamente conectados con el medio ambiental, capaz de influir profundamente sobre el desarrollo de la propia personalidad.



"paciente"; los psiquiatras, por su parte, admiten que el establecimiento de límites entre algunas enfermedades mentales (por ejemplo, los trastornos de la personalidad) y la "normalidad" es algo difícil de realizar. Las tendencias culturales dominantes en cada período histórico podrían inducir a las sociedades y a los psiquiatras a establecer como patológicos los comportamientos que se encuentran inaceptables o problemáticos.

No obstante, se reconoce que, prescindiendo de clasificaciones y de juicios, no sería posible en psiquiatría la comprensión de nada incluso en el caso de que la salud y la enfermedad fueran definibles exclusivamente según un criterio cuantitativo. La definición de Freud de la salud mental como capacidad de amar y trabajar puede parecer rudimentaria, pero, por otra parte, parece difícil dar una mejor.

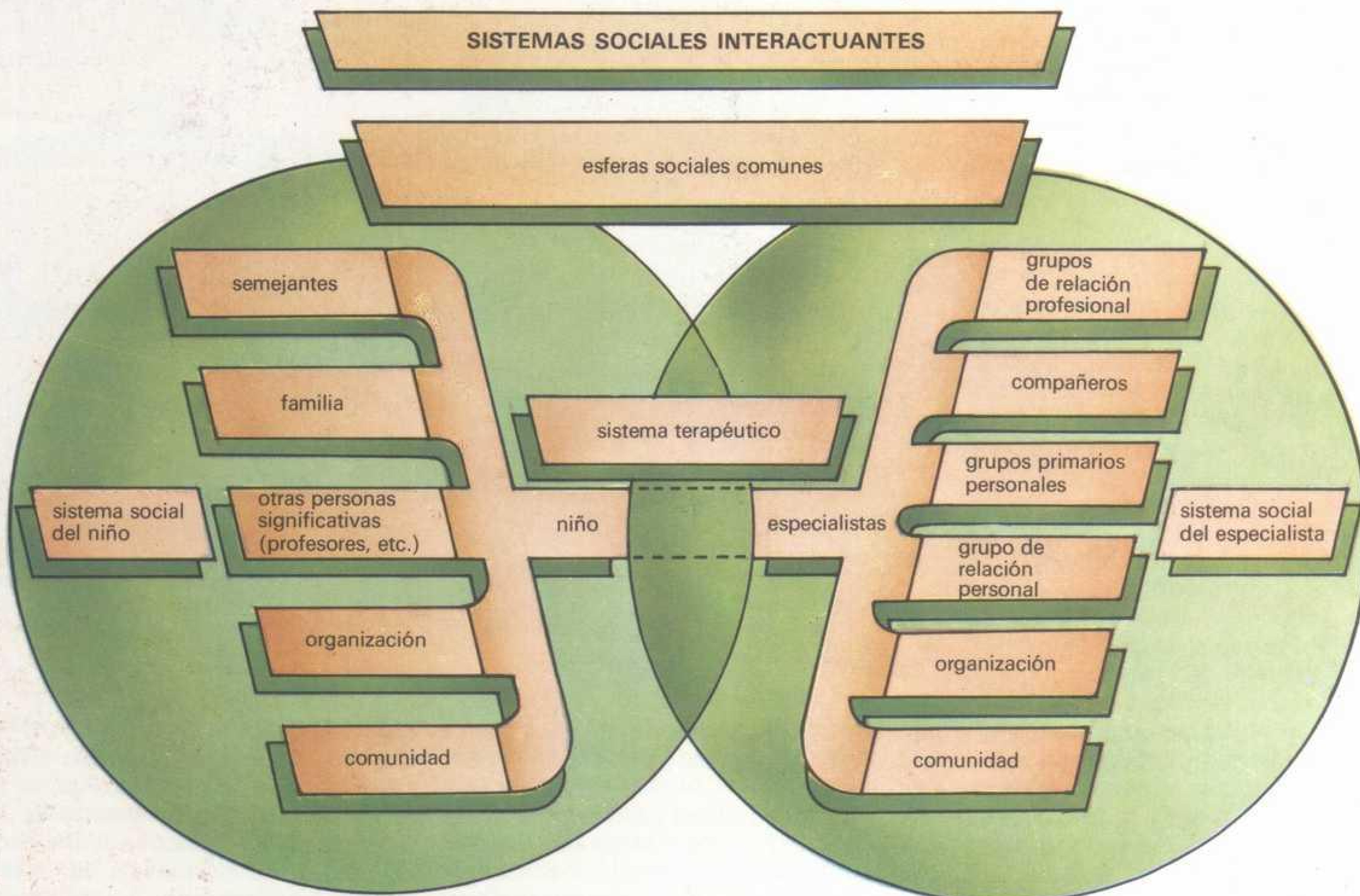
Los métodos psicológicos El método psicológico más difundido es el psicoanálisis, iniciado por Sigmund Freud a comienzos del presente siglo, con el cual coinciden los principios de la moderna Psiquiatría. Freud sostenía que la mente no funciona según una armonía perfecta, sino que algunas de sus partes están en conflicto entre sí, y que limitarse al estudio de la mente consciente significa perder sus componentes más importantes, que son, efectivamente, inconscientes y que determinarían los síntomas psiquiátricos y los aspectos de la personalidad.

El inconsciente freudiano es la parte de la mente que contiene los deseos reprimidos —deseos que influyen enormemente sobre nuestro comportamiento, a pesar de que no afloran a la conciencia—. Estos deseos pueden ser inaceptables, a veces por su contenido sexual, otras veces porque son potencialmente violentos: la imposibilidad de expresar tales deseos está en la contradicción de las normas familiares o sociales o en la imagen ideal de nosotros mismos. Aquéllos, a menudo, se relacionan con recuerdos dolorosos, como la pérdida de un ser querido u otras experiencias que producen sufrimiento. Con frecuencia, los más poderosos de estos recuerdos se remontan al período neonatal y a la primera infancia.

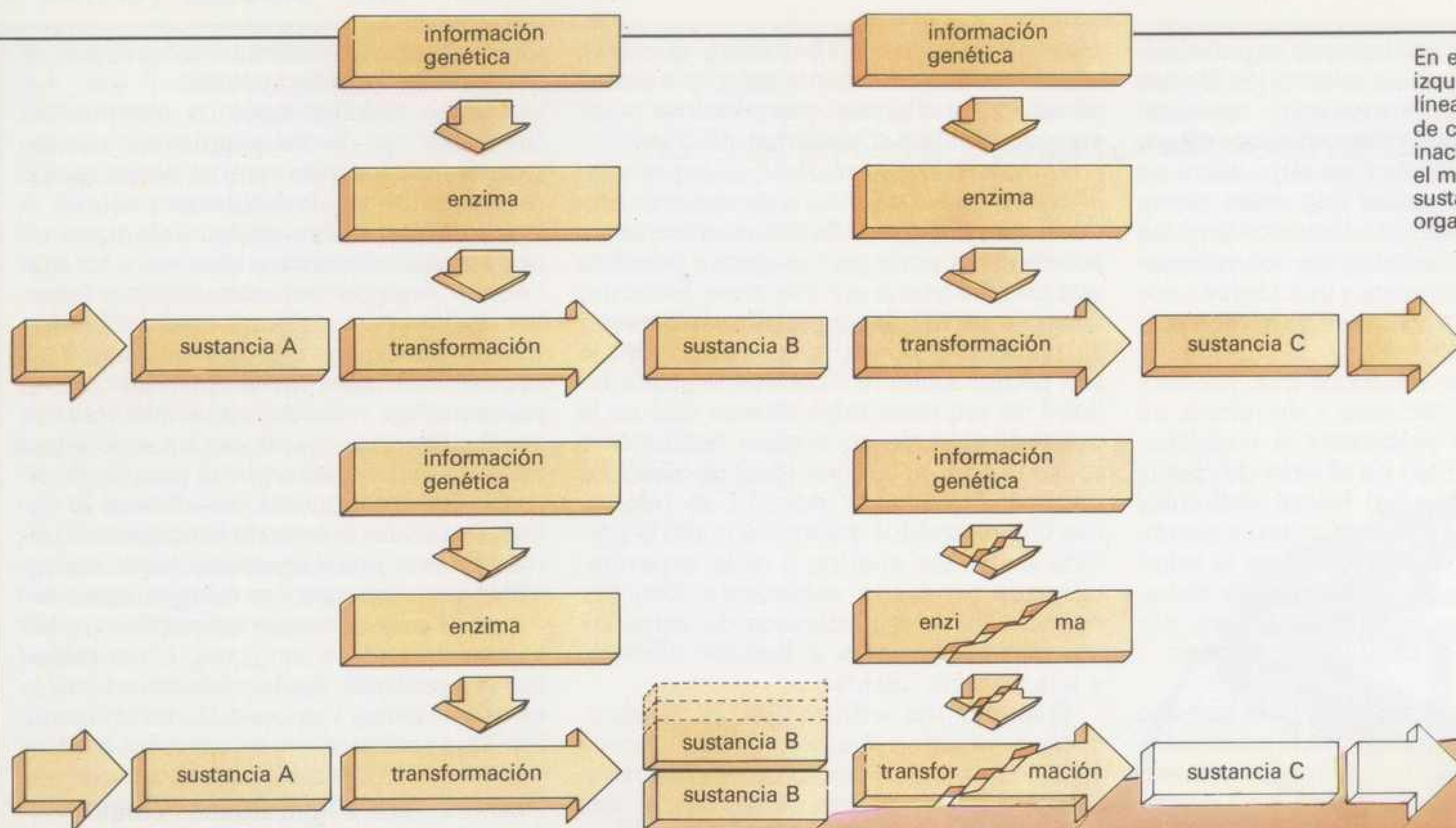
El intento del análisis freudiano consiste en descubrir estos recuerdos y deseos apartados en el subconsciente para restituirlos a la conciencia. A través de una sana identificación con el analista y de una total comprensión de las propias sensaciones, puede llegar a ser posible la curación de la "enfermedad". Desgraciadamente, un tratamiento de esta naturaleza es oneroso en términos económicos y de larga duración, y, además, no es capaz de asegurar el éxito terapéutico.

Existen muchos tipos de tratamientos "verbales" en la Psiquiatría de nuestro tiempo. Las terapias que se basan fundamentalmente en la aplicación teórica y práctica del psicoanálisis freudiano se consideran en nuestros días entre las más válidas. Algunas de estas técnicas intentan realizar para determinados problemas tratamientos más rápidos, y por ende más económicos, que los empleados por el psicoanálisis clásico, especialmente en procesos en los que no es necesaria una total reestructuración de la personalidad.

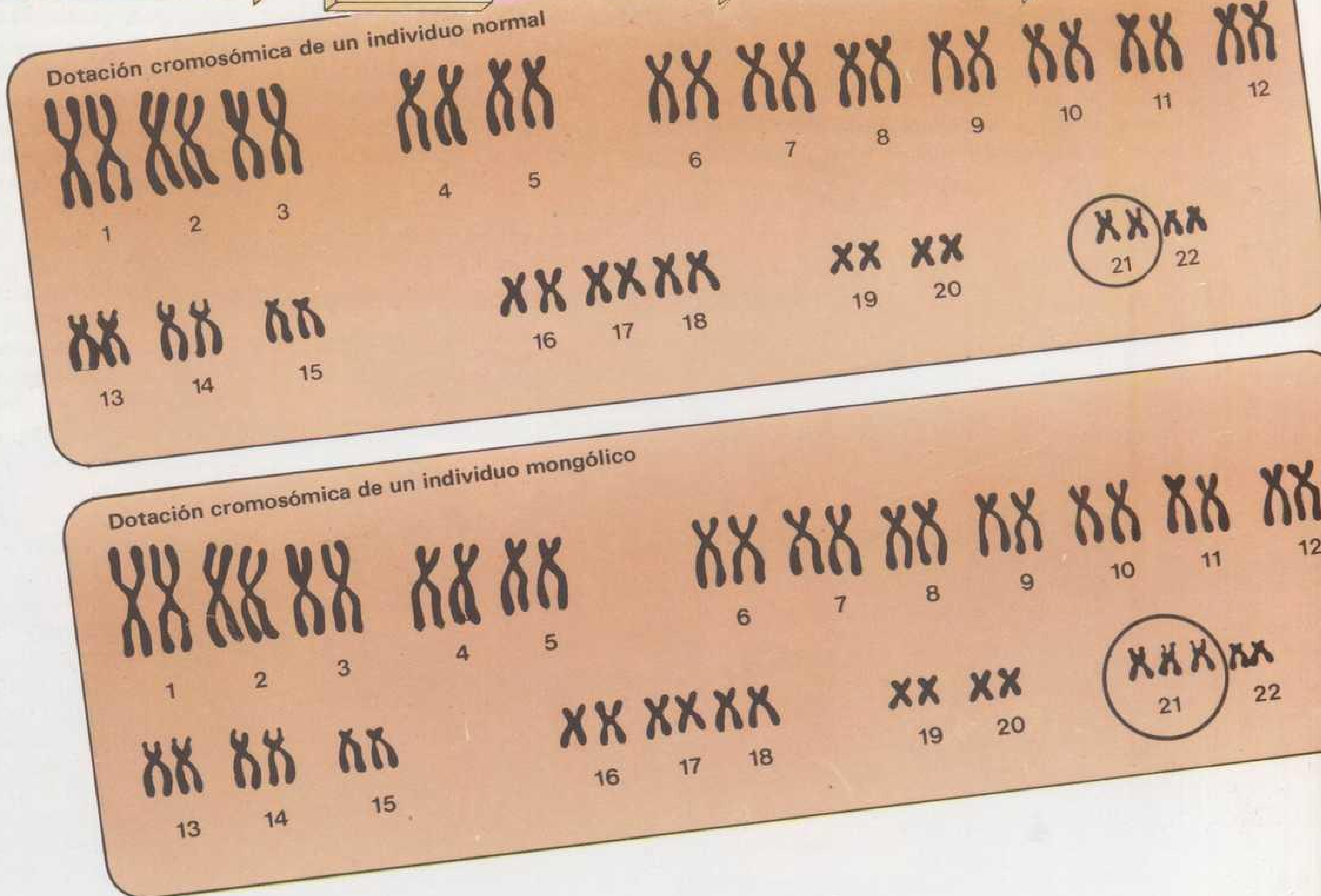
Algunos psiquiatras no admiten el énfasis freudiano acerca de los impulsos primitivos sexuales y agresivos, haciendo resaltar, sin embargo, los componentes sociales, las ambiciones competitivas y los valores morales o religiosos. Otros rechazan la aproximación terapéutica centrada en el individuo, y apoyan los tratamientos familiares o de grupo en aquellos trastornos psiquiátricos que implican la ruptura de las normales relaciones sociales, amorosas y laborales. El intento de curar la enfermedad mental a través de la escucha del paciente y del trabajo conjunto destinado a la comprensión de su enfermedad sigue siendo, a pesar de todo, preeminente en Psiquiatría.



Los niños experimentan en mayor grado que los adultos la influencia del ambiente externo, constituido por los miembros de la familia, del colegio y por todo el contexto social que se manifiesta en las formas más diversas (influencia de los medios de comunicación, órdenes, exhortaciones, cultura, formas religiosas, etc.). El conjunto de este múltiple y móvil mundo formado por los estímulos más diversos actúa sobre la mente del niño y provoca, en algunos casos, conflictos que pueden crear situaciones de neurosis y trastornos del comportamiento. También en los niños sometidos a psicoterapia, esta pluralidad de influencias continúa manifestándose, creando una zona de interacción (señalada en el esquema de la parte superior por el área común de los dos círculos). Efectivamente, el niño en tratamiento experimenta, por un lado, la influencia del especialista (a menudo concebido como sustituto de las figuras paternas), mientras que por otro lado continúa estando unido a su mundo de origen (familia, profesores, compañeros, etc.).



En el esquema a la izquierda de estas líneas, demostración de cómo un enzima inactivo puede alterar el metabolismo de una sustancia de nuestro organismo.

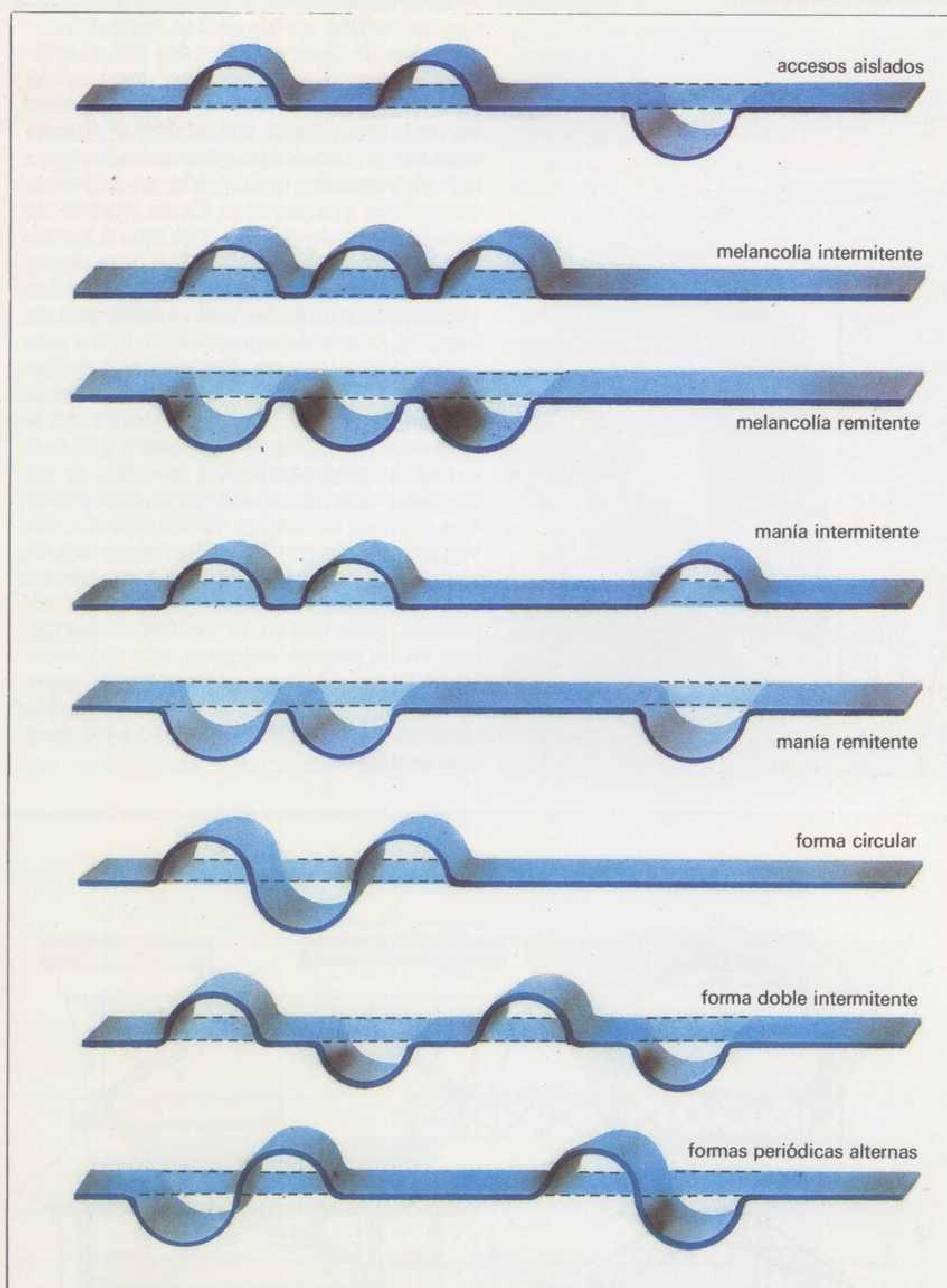


Algunas alteraciones mentales están provocadas por trastornos de tipo genético, relacionados tanto con la transmisión hereditaria de un determinado gen con un carácter patológico, como con alteraciones, roturas o desplazamientos de cromosomas. Algunas alteraciones mentales pueden producirse por causas que afectan a la madre y que se transmiten a la descendencia (como sífilis, rubeola, toxo plasmosis, alcoholismo), por la presencia de una incompatibilidad hemática entre madre e hijo, o incluso por las malas condiciones físicas o la edad avanzada de la madre. El parto y las condiciones ambientales pueden representar otras causas de trastornos mentales. A la derecha, cariotipo (conjunto de los cromosomas) de un individuo normal y de otro mongólico.

Las terapias del comportamiento alejan el acento del estudio y de la terapia relativa a los componentes subjetivos e invisibles —como los deseos y los recuerdos— y se ocupan del comportamiento manifiesto. La terapia basada en estos aspectos se ha mostrado eficaz para trastornos extremadamente específicos, como las fobias. Un paciente con temor a las alturas elevadas, por ejemplo, es gradualmente expuesto —en el plazo de algunas semanas— a alturas crecientes. Esta terapia ha dado éxitos satisfactorios y efectivos, pero no ha sido posible aplicar con igual resultado las técnicas comportamentales a trastornos más generales, como los de la personalidad.

Las aproximaciones psicológicas están por lo general más indicadas en aquellos pacientes que no han perdido el sentido de la realidad, que pueden pensar y hablar coherentemente acerca de sí mismos y que no presentan dificultades serias para mantener relaciones con los demás.

Los trastornos mentales más graves, como la psicosis, conllevan daños importantes en el modo de percibir la realidad —las alucinaciones son un ejemplo— y crean dificultades notables en el establecimiento de uniones afectivas estables. A pesar de que se han conseguido buenos resultados en la adaptación de las terapias de índole psicoanalítica a los pacientes psicóticos, generalmente es muy difícil aplicar estos métodos a este tipo de pacientes, pues, con frecuencia, son incapaces de mantener un procedimiento psicológico: se trata de pacientes convencidos de sus ideas, obstinados, o demasiado atemorizados en sus relaciones con los demás como para poder entrar en contacto positivo con un psicoterapeuta.



La psicosis maníaco-depresiva, de la que se representan aquí varias posibles evoluciones, es una enfermedad conocida desde la antigüedad: en efecto, de ella ya hablaron Hipócrates (el gran médico griego) y Areteo, médico de la Roma imperial. Pueden observarse accesos aislados de manía o de melancolía; accesos sucesivos de manía y melancolía; accesos de manía y de melancolía separados por un período variable de bienestar; accesos alternativos de manía y melancolía sin intervalo; accesos alternos con intervalo; accesos intensos seguidos de intervalos de bienestar.

Los métodos orgánicos Los métodos, tanto de tipo farmacológico como de tipo quirúrgico, que consideran las alteraciones del funcionamiento del sistema nervioso, han atraído durante largo tiempo a los psiquiatras. Ya Freud, dada su formación neurológica, fue inducido a formular la hipótesis de que los acontecimientos psíquicos estarían unidos a los fisiológicos que tienen su sede en el sistema nervioso central.

Muchos psiquiatras utilizan los fármacos con el fin de preparar a sus pacientes para la psicoterapia o para ayudarlos a vivir en la realidad; otros depositan una mayor confianza en la terapéutica farmacológica como tratamiento determinante. Tranquilizantes, como el diacepán (*valium*), son relativamente suaves y su acción favorece el tratamiento de la ansiedad sin producir sueño. Los fármacos antipsicóticos más fuertes, entre los que se encuentran el haloperidol y las fenotiazinas, actúan sobre las alteraciones mentales, la agitación y las alucinaciones características de las psicosis graves.

Los psicoestimulantes, como las anfetaminas, y los sedantes, como los barbitúricos, deben ser utilizados con precaución, no sólo porque inducen fácilmente al hábito, sino también porque en los últimos decenios han sido descubiertos fármacos mejores. Los nuevos fármacos antidepresivos alivian los síntomas depresivos (cansancio, ansiedad, desesperación) sin estimular al paciente a la hiperactividad característica de las anfetaminas.

Existen además distintos tipos de tratamientos biológicos, entre los que se encuentran la terapia electroconvulsiva y la psicocirugía. La primera, conocida más comúnmente como *electroshock*, consiste en una breve descarga eléctrica administrada al cerebro enfermo mientras el paciente se encuentra bajo anestesia. Este sistema se ha mostrado útil en el tratamiento de las depresiones graves, presumiblemente por el hecho de que los ataques nerviosos que provoca alteran el equilibrio químico del cerebro. En este tipo de tratamiento, la confusión y la amnesia son frecuentes, pero constituyen efectos colaterales temporales. El electroshock tiene, según algunos, connotaciones violentas e incluso sádicas. Tales ideas son probablemente injustificadas. Al igual que en el caso de la terapéutica con fármacos, este tipo de terapia puede en algunos casos dar al paciente la posibilidad de salir (si bien no definitivamente y sin conocer los motivos desde un punto de vista científico) de un círculo vicioso de infelicidad, enajenación o desesperación.

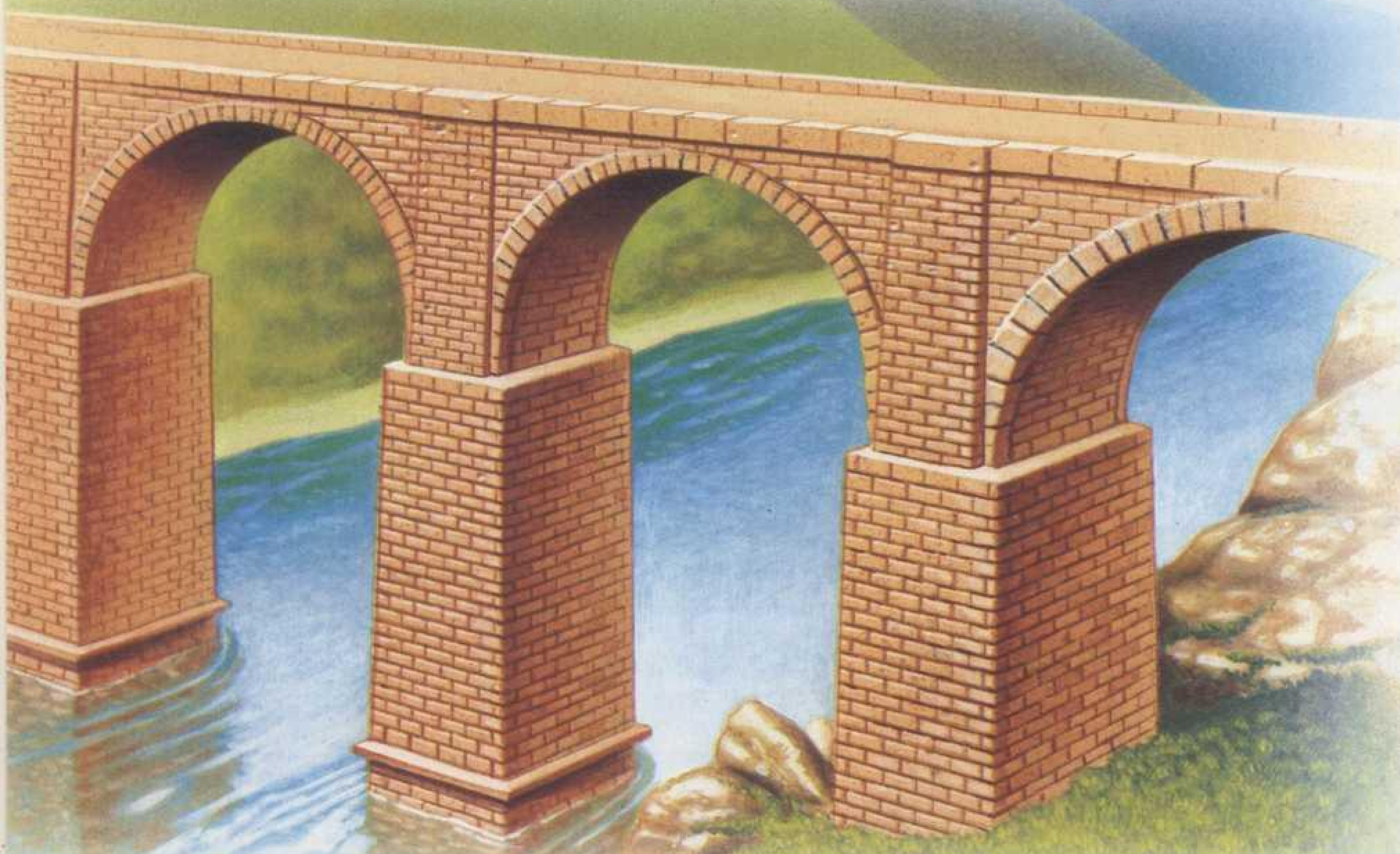
La cirugía —operando directamente sobre el tejido cerebral— es decididamente impopular en nuestros días. Intervenciones de este género son raramente practicadas en Estados Unidos, mientras que, por el contrario, son más frecuentes en Gran Bretaña. La técnica más famosa es la lobotomía frontal, en un tiempo muy utilizada con los pacientes más violentos que eran, por otra parte, condenados a vivir recluidos o en perpetua contención física. Desgraciadamente, la lobotomía no se limita a eliminar la inquietud y la agitación sino que provoca una mutilación de la personalidad y vuelve al paciente tratado con tales intervenciones quirúrgicas flemático, incapaz de sentir emociones e indiferente a sí mismo y al mundo.

El desarrollo de los descubrimientos en fármacos psicotrópicos (que alteran los procesos mentales o el tono del humor) ha contribuido a superar los anteriores procedimientos. Las intervenciones quirúrgicas que se practican en nuestros días son radicalmente distintas, afectando sólo a áreas pequeñas y bien definidas del cerebro, en lugar de a amplias extensiones encefálicas.

Es presumible que una mayor comprensión del funcionamiento del cerebro conducirá a la elaboración de nuevas clases de fármacos psicotrópicos que ocasionen menores efectos colaterales.

Véase **Cerebro; Fisiología; Nervioso, sistema; Neurosis y psicosis; Subnormalidad; Test psicológico**

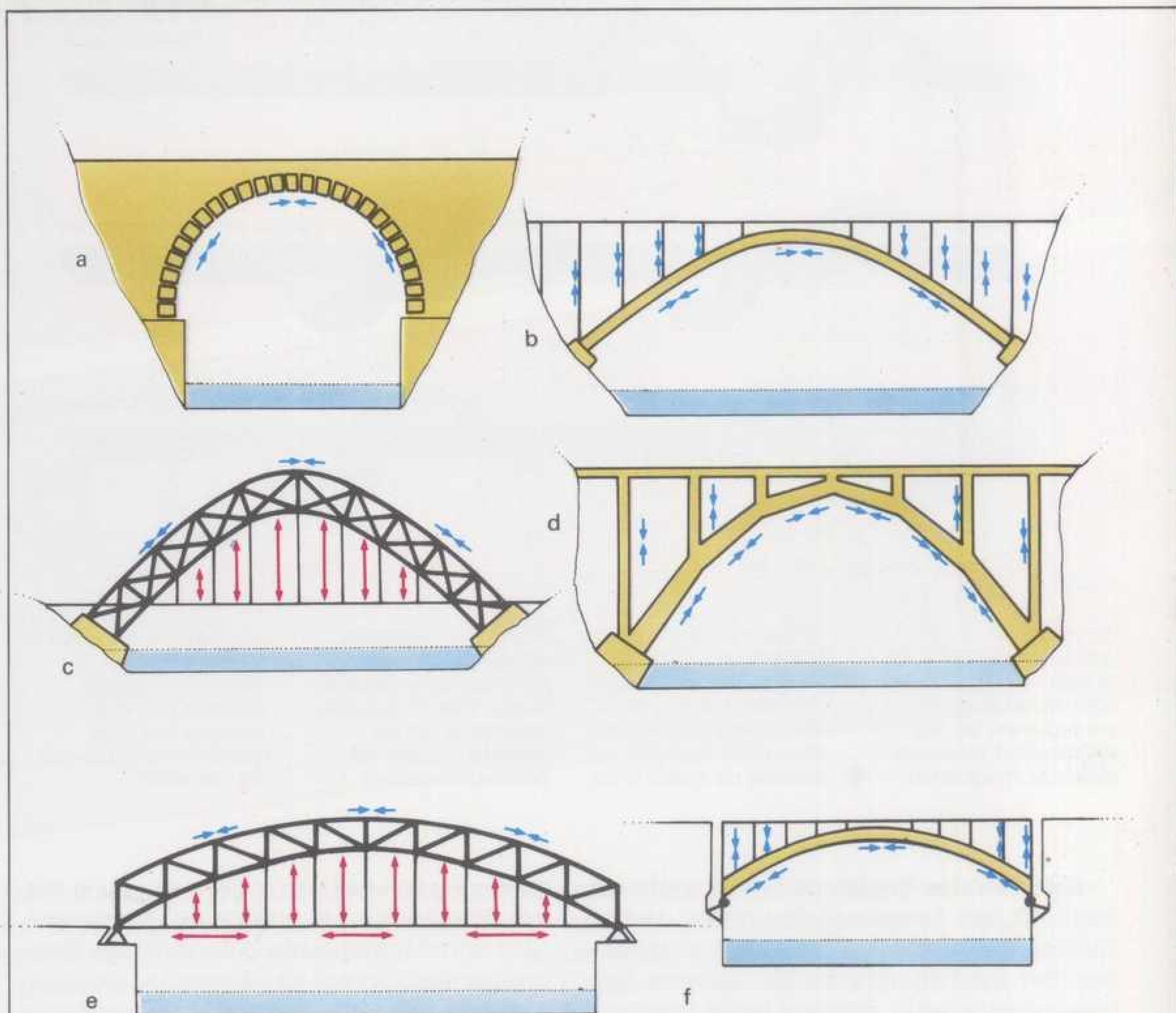
Puente



Desde los puentes de piedra de la antigua Roma hasta el Golden Gate de la bahía de San Francisco, existen en el mundo miles de construcciones de este tipo, de las más variadas formas y tamaños, aunque todos ellos de gran majestuosidad y belleza. Los puentes son estructuras construidas para superar obstáculos naturales, como ríos, gargantas y bahías, o creados por el hombre, como autopistas, canales y ferrocarriles. En gran medida la historia de los puentes ha transcurrido paralela a la historia del tipo de materiales disponibles para su construcción: en los primeros puentes se utilizaron cuerdas, madera y piedras; en los puentes más recientes se emplea fundamentalmente hierro, acero y hormigón.

Los primeros puentes La historia de la construcción de puentes se ha desarrollado según tres configuraciones básicas: la *viga*, el *arco* y la *estructura colgante*. Un ejemplo simple de puente de viga es un tronco escuadrado apoyado por sus extremos a ambos lados de un curso de agua. En los puentes de vigas más sofisticados, los elementos horizontales, construidos con grandes placas de piedra, se apoyan en la parte superior de una serie de columnas o pilas. El puente colgante más simple está formado por una cuerda sujeta a los lados de una garganta o valle. Para que fuera más fácil atravesarlo, los primeros constructores utilizaron tres cuerdas largas, que ataban entre ellas con otras cuerdas cortas a intervalos regulares, de forma que la cuerda de en medio quedara más baja y se pudiera caminar por encima de ella, mientras que las dos cuerdas más altas, paralelas, formaban una especie de pasamanos.

Los materiales de cualquier puente están sujetos a dos tipos fundamentales de esfuerzos, debidos tanto al peso de la propia estructura como de las cargas accidentales, es decir, producidas por el tráfico que soporta: el *esfuerzo de compresión* y el *esfuerzo de tracción*. La compresión es, de forma simple, la fuerza que oprime unos materiales contra otros, mientras, que por el contrario, la tracción es la fuerza que tiende a separarlos. En un puente de viga, la fuerza que se ejerce sobre los pilares se dirige hacia abajo: se trata de un esfuerzo de compresión. Sin embargo, las vigas están sometidas tanto a esfuerzos de tracción como de compresión. Entre dos pilares consecutivos, donde la viga no tiene sujeción, tenderá a flexionarse, fenómeno que hace que la parte superior de la viga esté sometida a compresión y la parte inferior esté sometida a tracción. En un puente colgante los esfuerzos que tienen que realizar los cables de suspensión son claramente de tracción. Cuando se tensa, el cable transmite su tensión a su sistema de anclaje. En un puente de arco los esfuerzos, que tienen el sentido contrario que en un puente colgante, son totalmente de compresión, debido a que el peso del puente transmite una acción de empuje tanto hacia abajo como hacia los apoyos extremos.



En (a) tenemos un puente clásico. La estructura portante es un arco circular de piedra y todo el espacio entre el plano de la carretera y el arco está relleno de tierra y piedras: el arco trabaja a compresión. En (b) la variante moderna: arco en forma de parábola que sujeta los apoyos verticales; arcos y apoyos trabajan a compresión. En (c) arco de estructura metálica a compresión que sujeta el piso de rodadura con tirantes. En (d) una versión aligerada de (b): la carretera se apoya en pilares verticales finos. En (e) una estructura ligera que sujeta el plano de la carretera con tirantes. En (f) un puente de arco como en (d) pero de apoyo simple.

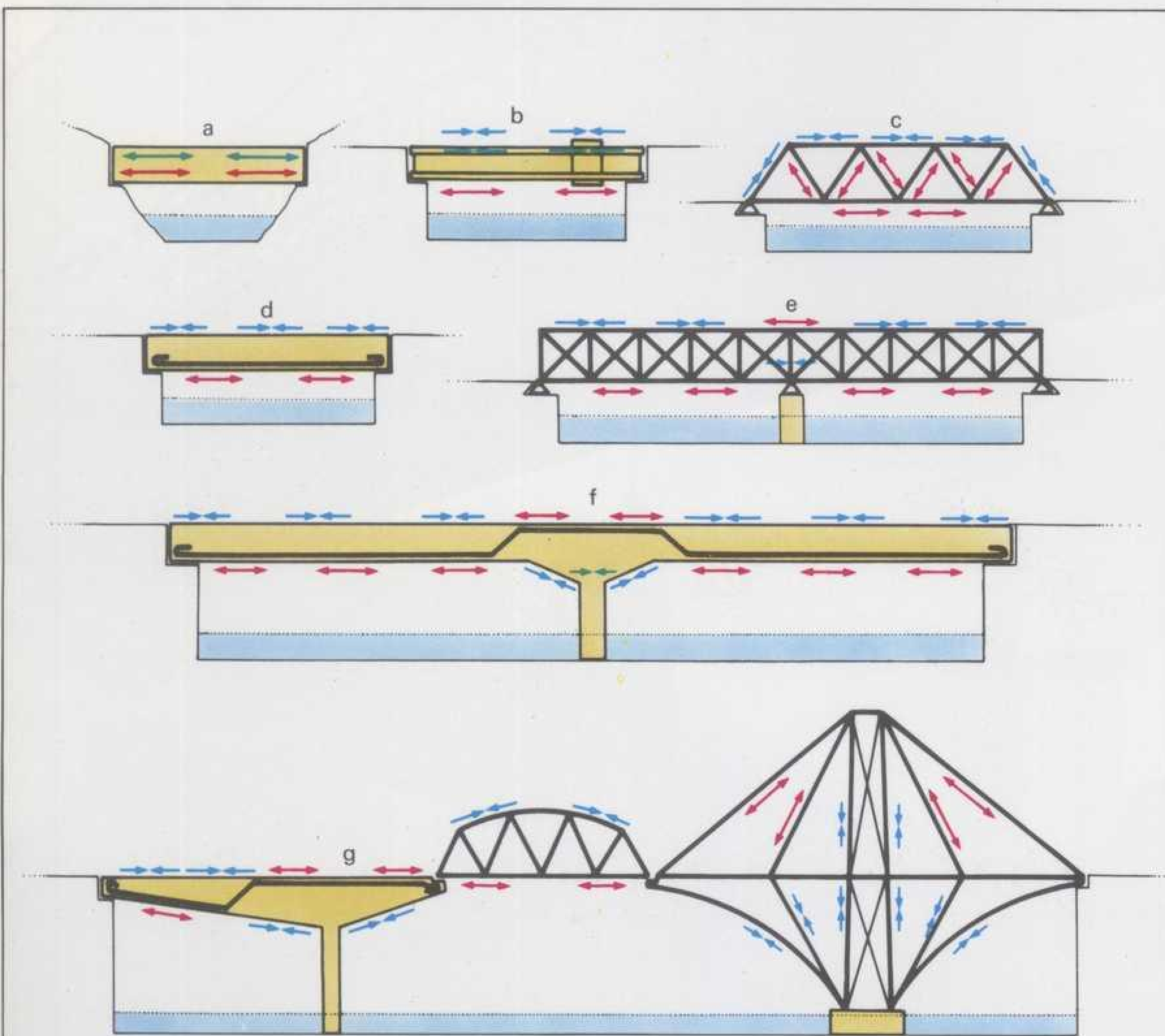
Los romanos fueron los primeros que utilizaron el arco como elemento estructural de sujeción en las construcciones, no sólo en los edificios, sino también en puentes y acueductos, algunos de ellos de longitudes de miles de metros. El puente romano estaba formado por una serie de arcos de piedra que sujetaban en la parte más alta el piso de rodadura. Se conserva todavía un cierto número de puentes romanos, algunos de ellos con una antigüedad de más de dos mil años. Después de un período de decadencia, la construcción de puentes renació en Europa durante la Edad Media. Un ejemplo de ello es el Old London Bridge, construido en 1209 sobre el Támesis y que estaba formado por 19 arcos de piedra. El piso de rodadura, situado en la parte más alta, sujetaba casas y comercios. El puente permaneció en pie hasta su demolición, aproximadamente en el año 1820, cuando se empezaron los trabajos para el nuevo London Bridge.

Puentes de estructura reticulada (vigas en celosía) En el siglo XVIII se aplicó a la construcción de puentes un método que consistía en la unión de vigas cortas de madera para formar estructuras robustas a base de triángulos, llamadas *vigas reticuladas o arriostradas*. La estructura más simple de viga reticulada de madera es un triángulo formado por tres vigas simples. Cuando en uno cualquiera de los tres vértices se ejerce una fuerza de compresión, las dos vigas que parten de este punto quedan sometidas a dicha fuerza, mientras que la tercera viga, que une las dos primeras, se ve sometida a tracción. Se han desarrollado varios sistemas de vigas reticuladas destinadas a la construcción de puentes. El más generalizado consta de una viga situada en la parte inferior con riostras en diagonal que la unen a otra viga en la parte superior para hacerla más rígida.

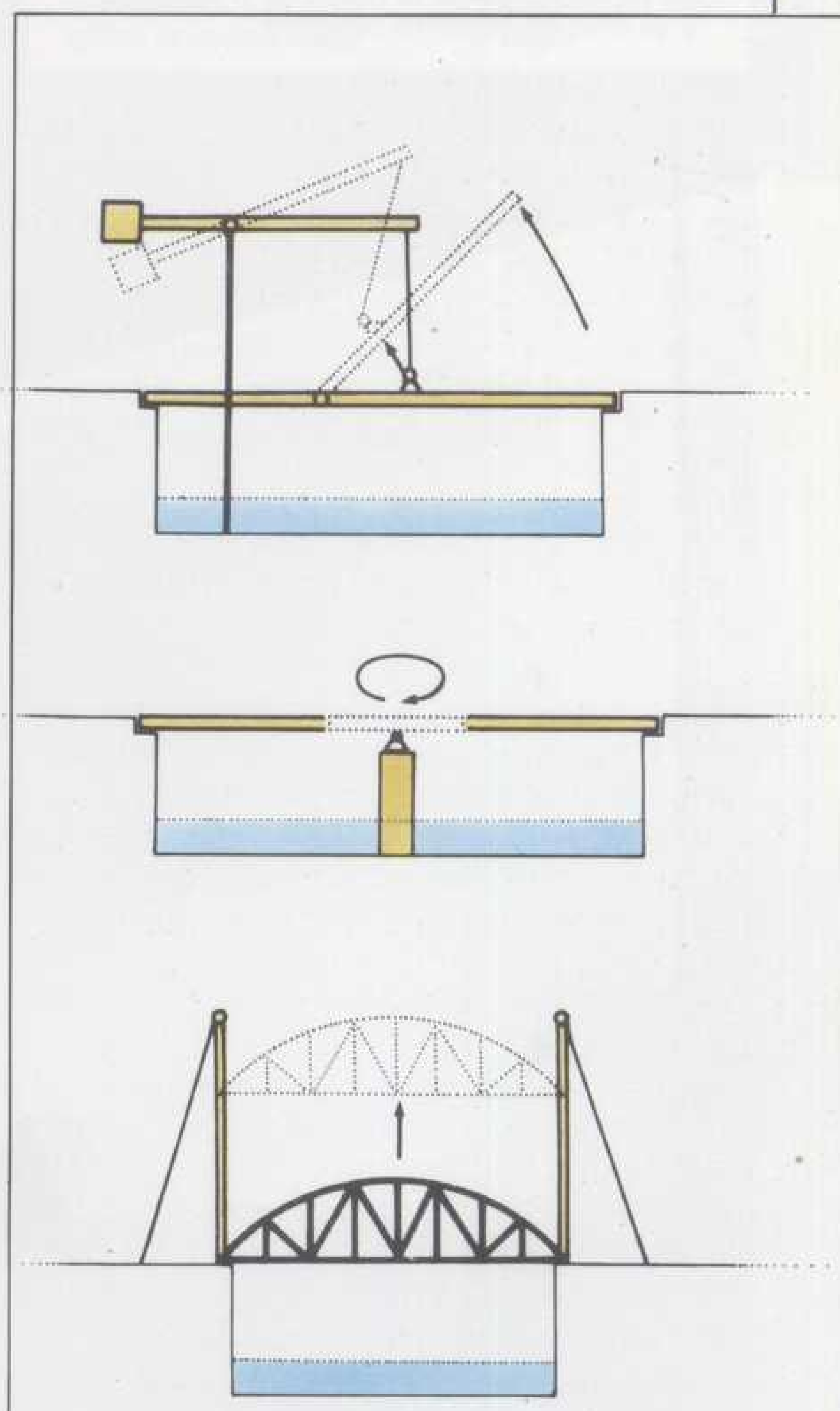
Algunos puentes cubiertos construidos en Suiza y en Estados Unidos fueron los primeros puentes con este tipo de estructura. En 1812 se tendió sobre el río Schuylkill, en Filadelfia, un puente de madera de una única luz de 102 metros con elementos diagonales que recibió el nombre de Colossus.

Puentes de hierro y de acero Con la introducción, en el siglo XIX, del hierro y del acero como materiales de construcción, se pudieron realizar puentes muy resistentes, con una economía de material enorme respecto a la piedra y de una duración inalcanzable con respecto a los de madera. En algunos de los primeros puentes de hierro, construidos a principios del siglo XIX, se utilizaron perfiles de hierro de gran espesor, unidos para formar un arco cuya parte más alta sujetaba el piso de rodadura. El puente ferroviario Britannia, construido en Gales en 1845, fue la demostración de cómo se podían utilizar grandes planchas de fundición que, unidas, formaban estructuras rectangulares cuyos extremos se unían unos con otros hasta formar cuatro luces. Los trenes, que pasaban por el interior de esta estructura con forma de caja, hicieron un gran uso de este puente de 461 m de largo hasta que en 1970 un incendio le causó importantes daños.

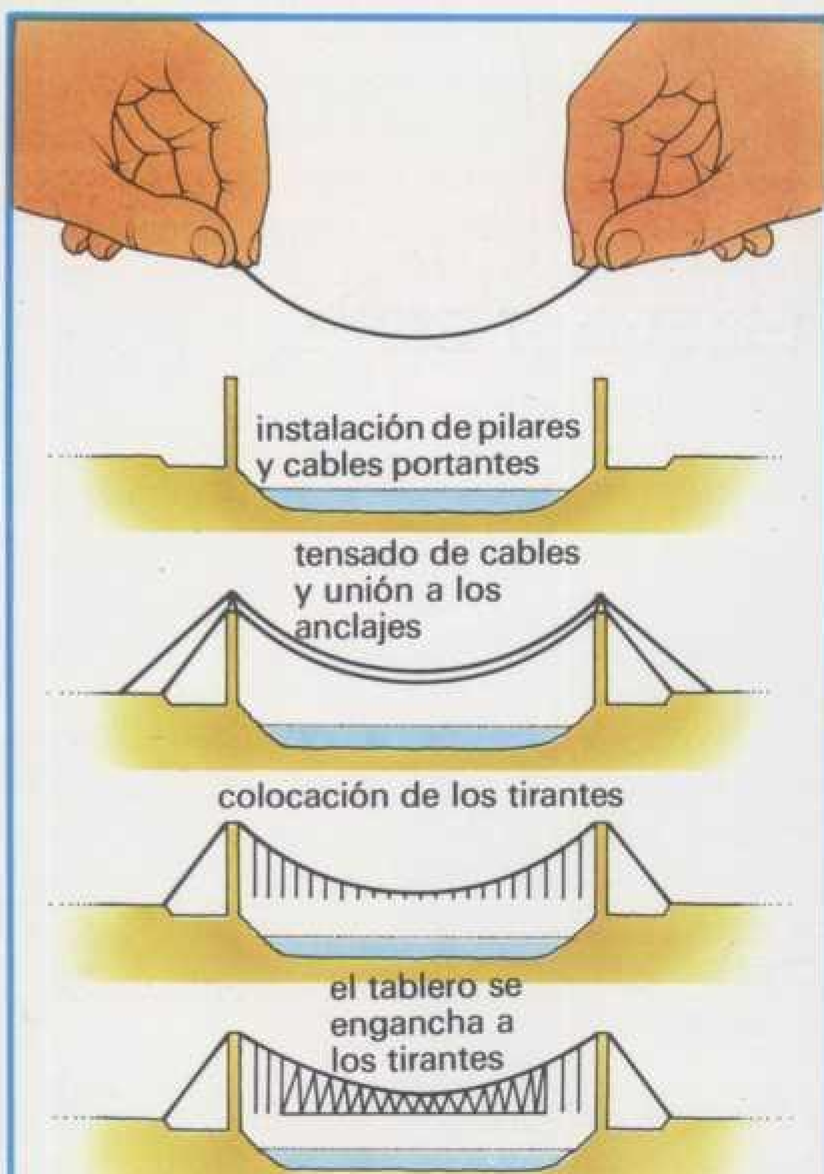
Puentes colgantes Con el desarrollo, en el siglo XX, de cables de hierro o acero se sentaron las bases potenciales para los puentes colgantes modernos. La mayor innovación de proyecto que distingue a los puentes colgantes es la suspensión



En (a), (b) y (d) tres versiones de puente de viga recta de hormigón armado: la parte superior de la viga trabaja a compresión y la inferior a tracción. En este caso la armadura de acero resiste a la tracción. En cambio, en (c) la viga horizontal está formada por una estructura de acero. La estructura tiene triángulos como estructuras básicas y las flechas indican cuáles trabajan a tracción y cuáles a compresión. En (e), una viga reticulada con mallas cuadradas. En (f), una viga de cemento armado apoyada en una columna y, en (g), una estructura mixta de vigas de hormigón armado y estructura metálica.



En la parte de arriba, puente móvil levadizo: el plano de la carretera tiene bisagras y se levanta girando. En el centro, el plano, en un bloque único, gira sobre el pilar central. En la parte de abajo, el piso de rodadura se levanta, con la estructura que lo mantiene rígido, por medio de dos ascensores que mantienen los pilares laterales y están perfectamente sincronizados.



Principio de los puentes colgantes: en la parte de arriba se coloca un cable sobre dos pilares sujeto con contravientos en los laterales. Se cuelgan tirantes con una separación constante que sujetan en su parte inferior el plano de la carretera y se añaden refuerzos oblicuos.

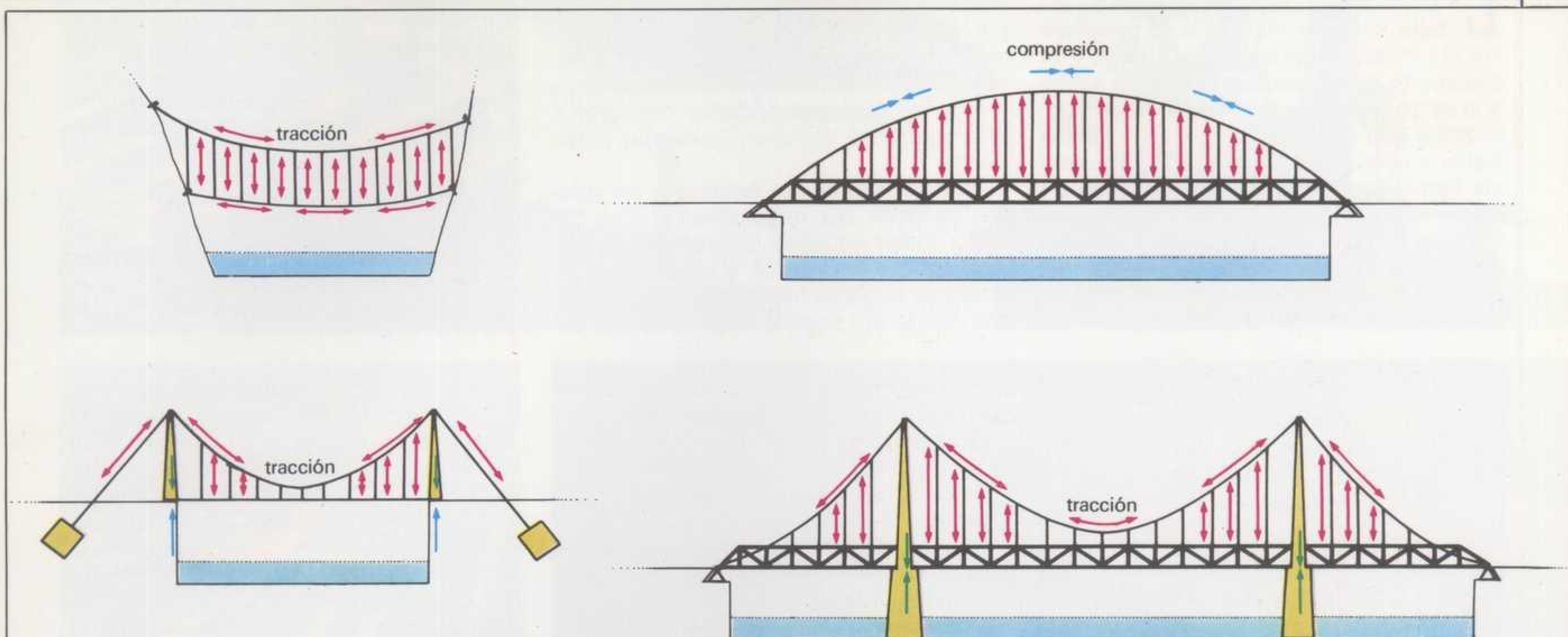
del piso de rodadura de los cables portantes a través de cables secundarios en vez de extender el piso de rodadura directamente en ellos (esta última forma de construcción pertenece a un tipo de puente utilizado en Asia durante cientos de años).

Uno de los primeros y más famosos, puentes colgantes modernos, el puente de Brooklyn, se acabó de construir en 1883, después de dieciocho años de trabajos. La luz central del puente de Brooklyn tiene una longitud de 486 metros. Los cuatro cables principales, anclados en cimientos calizos sobre ambas orillas, se apoyan en dos torres macizas de piedra, y cada uno está formado por 5.400 cables secundarios de acro paralelos. Los cables que cuelgan de los cables principales sujetan el entramado del piso de rodadura; además existen numerosos cables en diagonal desde las dos torres al entramado para aumentar la estabilidad del puente.

El puente de Brooklyn sentó las bases de los grandes puentes colgantes construidos durante el siglo XX, como el George Washington, tendido sobre el río Hudson en Nueva York, en 1931, con una luz central de 1.066 m, y el Golden Gate, construido en 1937, con una luz principal de 1.280 metros.

A esta carrera de puentes colgantes, que conseguían superar luces cada vez mayores con menos materiales, no le han faltado desastres.

En 1940, cuatro meses después de su inauguración, el puente Tacoma Narrows, en el estado de Washington, dejó de ser utilizable en un día de viento con ráfagas que alcanzaron la velocidad de 67 km/h. Desde el principio al puente se le llamó "Galloping Gertie", por la forma en que se balanceaba con el viento, hasta el punto de que muchas personas recorrieron el puente en coche para experimentar la sensación que producían los movimientos. El puente estaba proyectado para resistir fuerzas de intensidad muy superior a la que produce un viento de 67 km/h, pero con el viento se establecían en el entramado del puente oscilaciones que se transformaban en torsiones violentas y el entramado se soltó de los cables. Este fenómeno se produjo porque las oscilaciones que provocaba el viento tenían una frecuencia próxima a la de las oscilacio-



Si un puente colgante se construye con el tirante superior de la misma forma que la carretera (arriba), su contribución a la rigidez y resistencia será mínima. En cambio, si el tirante superior tiene forma parabólica (debajo) los esfuerzos se distribuyen según indican las flechas y el plano de la carretera no queda sometido a esfuerzos. Solamente tendrá que ser rígido respecto a las flexiones laterales, ya que los cables de sujeción son ineficaces en dirección perpendicular. Estos cables se fabrican en el lugar, tendiendo hilos de acero paralelos y uniéndolos en un haz cilíndrico. En estos cables se sujetan los tirantes verticales que bajan hasta engancharse al plano de la carretera. A la derecha, arriba, puente donde el plano cuelga de un arco fino que traba a compresión. Las dos orillas opuestas están unidas con un arco único. Abajo, un curso de agua ancho se salva con una estructura colgante de tres vanos, sujeta con dos pilas y dos anclajes.

La estructura aérea del puente de Brooklyn, sujeta por cables colgantes apoyados en dos pilas altísimas. El peso de las dos calzadas está sujeto con un par de cables cada una.

nes propias de la estructura, que entró en resonancia. En consecuencia, cada oscilación se hacía mayor que la anterior, hasta que la estructura se vino abajo. El Tacoma tenía un entramado muy fino, con sólo 12 metros de ancho y un espesor de 2,4 metros.

Véase **Arco (arquitectura); Viga**

Puerto de mar

La historia de nuestra civilización ha estado siempre vinculada al progreso de las rutas comerciales marítimas y al transporte de ejércitos de un puerto a otro, a lo largo de todo el mundo. Un puerto comercial está generalmente situado en una bahía o en el estuario de un río. El puerto de San Francisco es un puerto típico de bahía, el de Londres lo es de estuario, y el de Nueva York constituye una combinación única de puerto situado tanto en una bahía como en un estuario. Estos dos accidentes geográficos ofrecen importantes ventajas con respecto a la función principal de un puerto, que consiste básicamente en proteger los barcos de carga o pasajeros del oleaje. En Egipto, Mesopotamia y Asia, las primeras ciudades crecieron a lo largo de ríos, cuyas orillas servían como puerto.

Posteriormente, los fenicios y los griegos llevaron sus respectivas civilizaciones a todos aquellos lugares donde podían atracar sus barcos, y los pueblos de Polinesia llegaron hasta todos aquellos sitios donde era posible resguardar sus ca-


a


b


c

Las operaciones que se efectúan con los barcos en un puerto exigen que la superficie del agua esté en calma absoluta. Por este motivo los puertos tienen que estar resguardados de la furia del mar, por lo que se aprovechan, si es posible, los entrantes naturales. El puerto de San Francisco, uno de los mejores dotados, se encuentra en una gran bahía al resguardo de las inclemencias meteorológicas y del oleaje. A la derecha, tres tipos de puertos: arriba, puerto natural situado en un entrante de la costa con una entrada estrecha que protege del oleaje; las construcciones artificiales sirven para facilitar el atraque de los barcos y las operaciones de carga y descarga; en el centro, puerto artificial construido al resguardo de un gran dique de protección; finalmente, abajo, puerto en la desembocadura de un río. En estos casos la desembocadura suele servir como entrada → para los barcos. Las construcciones relacionadas con los atraques tienen que estar situadas en una dársena, como la de la figura, excavada al lado de la desembocadura, en tierra firme, o profundizando en una laguna. Estos puertos son difíciles de mantener en funcionamiento porque la desembocadura del río tiende a llenarse de arena y hay que dragarla continuamente. Además, por lo general, sólo se consigue dejar libre un canal estrecho que se ha de señalar cuidadosamente con boyas de día y luces de noche. El canal de acceso se señaliza con una línea de faros. A la izquierda, el pequeño puerto de Portofino, dedicado casi completamente a la navegación deportiva.



Nino Cirani/Stradella



motora del práctico

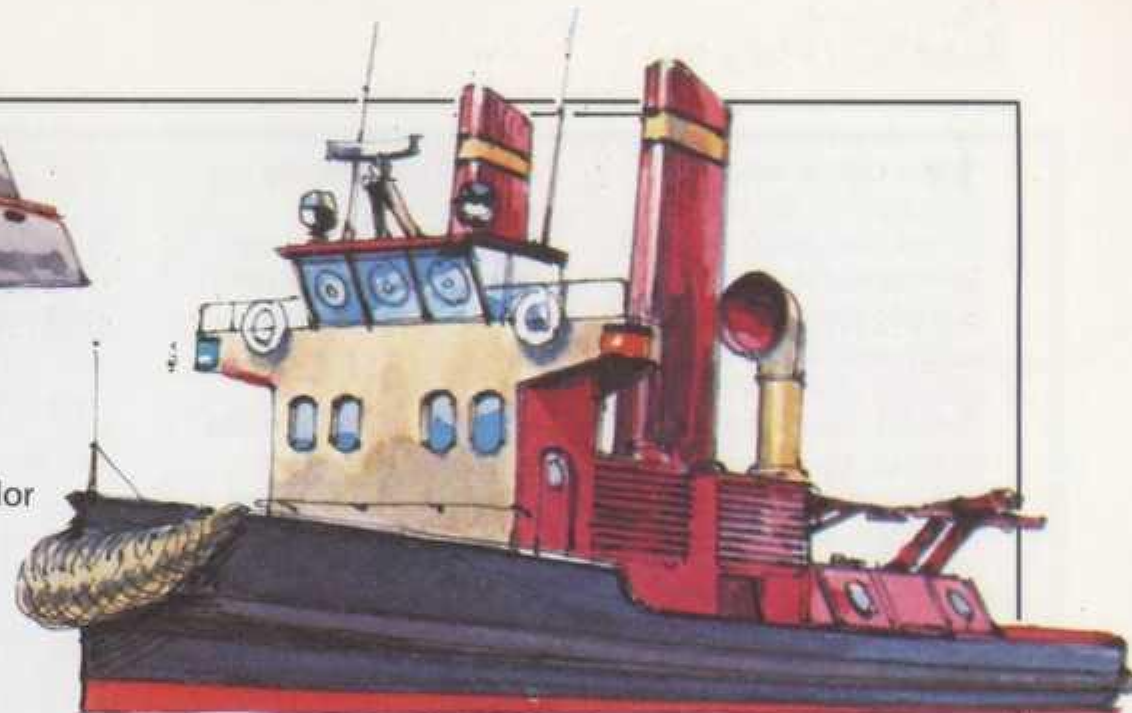


motora de la policía

barco de bomberos



remolcador



Arriba, los barcos de servicio más característicos de un puerto. De arriba a abajo y de izquierda a derecha, motora que utiliza el piloto del puerto (el "práctico") para acercarse a un barco que llega, con el fin de conducirlo con seguridad a su muelle; embarcación de la policía que patrulla por el puerto y alrededores, para control y vigilancia; lancha de bomberos, en cuyo perfil se distinguen los potentes cañones de agua; remolcador preparado para remolcar y empujar barcos en las cercanías o dentro del puerto. Existen también remolcadores de gran tonelaje y potencia, para arrastrar rápidamente grandes barcos averiados en alta mar, remolcar restos de barcos y para salvamento. Abajo, prototipo de puerto en el que se pueden desarrollar múltiples actividades:
1) descarga tradicional de un barco con grúas;
2) descarga de un barco con mercancías en polvo mediante un aspirador;
3) descarga de un barco cargado de contenedores;
4) muelle para descargar petroleros (arriba) y barcos para el transporte de gases licuados con conducción de los líquidos a cisternas (abajo).

noas. Los grandes puertos actuales (Londres, Nueva York, Tokyo, Rotterdam o Hong-Kong) son todavía centros de difusión cultural y comercial hacia vastas zonas del interior.

Puertos artificiales Cuando la costa no proporciona las condiciones idóneas para un puerto natural, se puede construir uno artificial. Los primeros puertos artificiales de los que se tiene referencia, realizados por los fenicios en Tiro y Sidón alrededor del 1200 a. de C., se construyeron con piedra, y fueron aparentemente proyectados para durar «siempre»: las partes fundamentales de ambos puertos siguen existiendo en el actual Líbano. Muchos puertos artificiales se dragan, es decir, se excavan canales para hacer su fondo más profundo y permitir que los barcos grandes permanezcan anclados en el centro y que los otros barcos entren y salgan. Todos los puertos tienen por lo menos un *dique rompeolas*, es decir, un muro de grandes dimensiones, que tiene la misión de romper o reflejar las olas, ofreciendo un abrigo seguro para los barcos. Un rompeolas de tipo tradicional se construye echando al agua rocas, que se cubren después con una capa de bloques pesados de hormigón, para evitar la erosión del dique por el agua. Estos bloques de hormigón suelen pesar más de 22 toneladas, aunque se pueden usar bloques de menor peso. En efecto, aunque la roca natural es el material más idóneo para construir los rompeolas, no siempre está disponible o conviene económicamente, por lo que se han proyectado muchas estructuras realizadas exclusivamente con hormigón, sin base de roca natural, lo que probablemente reduce su duración.

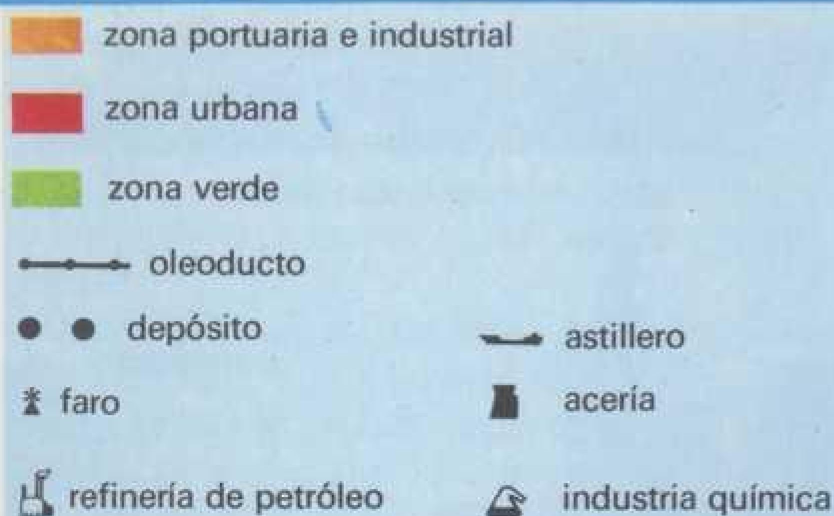
1

2

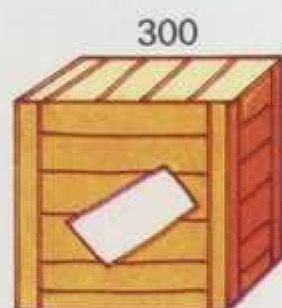
3

4

Plano del puerto de Rotterdam. Se trata de un complejo colosal de instalaciones construido en la confluencia del Nuevo Mosa y del Rhin. Debajo, las cajas indican, con sus dimensiones, el volumen de tráfico relativo de los puertos más grandes del mundo; se puede ver cómo el de Rotterdam supera en mucho a todos los demás. Este puerto es también una grandiosa terminal ferroviaria, de transporte por carretera y de navegación fluvial. En él tienen su origen algunos de los grandes oleoductos que llevan el petróleo al interior de Europa. Un gran puerto tiene que tener además servicios de almacenamiento de mercancías, incluso fuera de la aduana, con las instalaciones necesarias para conservar mercancías perecederas (por ejemplo, almacenes frigoríficos). El valor del puerto aumenta al tener cerca grandes industrias capaces de transformar materias primas llegadas por mar y de fabricar productos acabados. Tiene además servicios esenciales, como astilleros de construcción y reparación, servicios contraincendios, de remolque, tanto para el puerto como para alta mar, y de salvamento (ver símbolos).



Movimiento anual de mercancías en los principales puertos del mundo (1979)

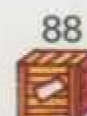


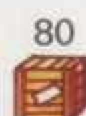


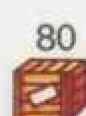


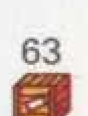






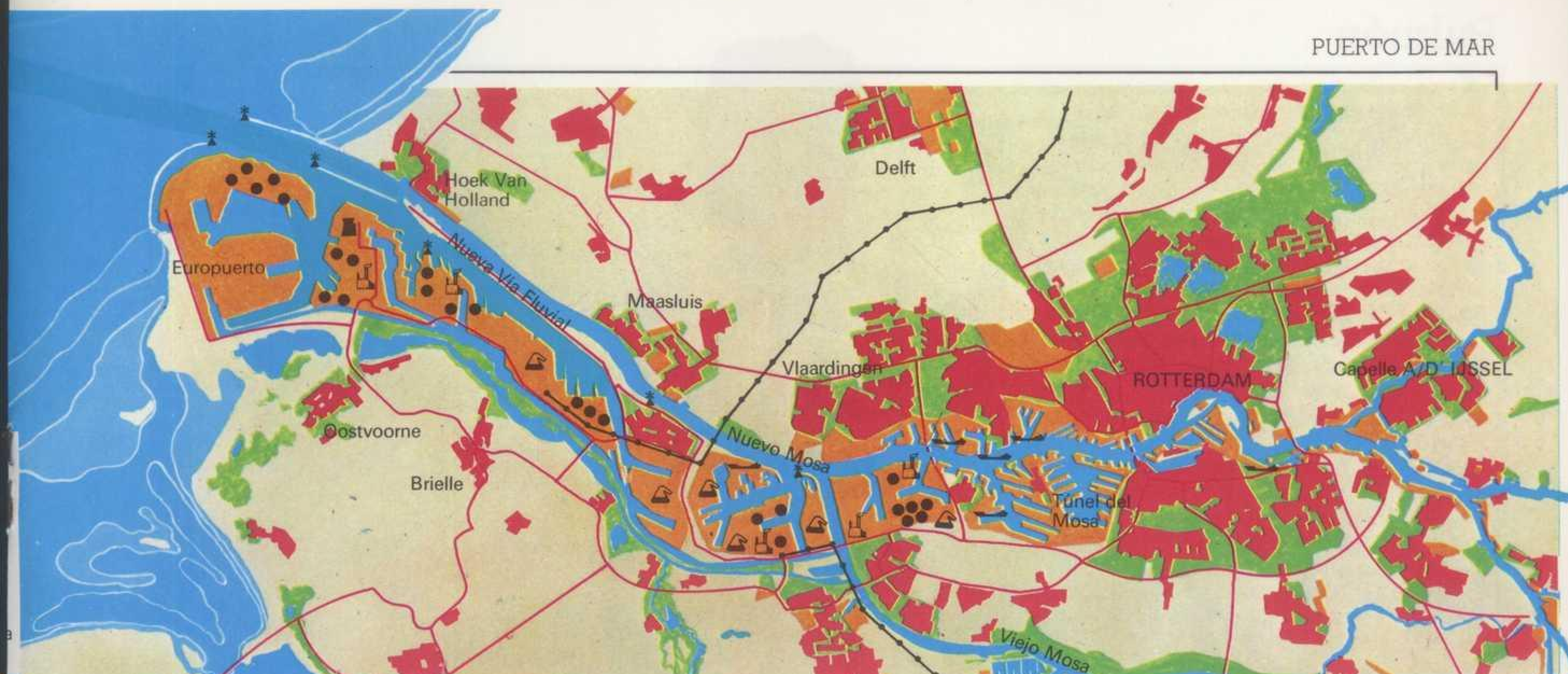








Sección de un muelle de descarga de barcos porta-contenedores a poca distancia de Rotterdam. Está preparado para barcos de 50.000 toneladas como máximo, aunque con un mínimo proceso de dragado y profundización podría admitir barcos de calado todavía mayor. Destaca la gran grúa puente, que se puede desplazar a lo largo del muelle y descargar los contenedores de la cubierta y de la bodega, para cargarlos después en los camiones, que están estacionados en el muelle, o enviarlos a zonas de depósito provisional en espera de su recogida.



Abajo, vehículo que permite transportar rápidamente los contenedores, grandes y pequeños, de los barcos a las zonas de almacenamiento. Puede apilarlos con gran precisión, de forma que las pilas sean estables y no tengan dificultades en la operación de descarga. Este medio de transporte se ha construido especialmente para resolver el problema que se produce al acumularse, en puntos no deseados del muelle, contenedores que a continuación se tendrían que transportar a otra parte. El aumento de velocidad de las antiguas grúas provocaba problemas que este carro elimina.

Para puertos provisionales se utilizan a menudo los *tetrápodos,* estructuras con cuatro pies que se traban fuertemente cuando se echa el hormigón, formando rompeolas sólidos.

Comunicación con el interior Los puertos, además de proporcionar cobijo a los barcos, tienen que estar situados de forma que permitan un intercambio eficaz de mercancías y personas entre rutas marítimas y terrestres. Como consecuencia, el puerto tiene que disponer por lo menos de una buena carretera de acceso y, en el caso de grandes puertos, se tienen que comunicar con el interior a través de autopistas y ferrocarril.

Planificación de un puerto Cuando se proyecta un puerto o cuando se preven cambios estructurales en una bahía, los ingenieros construyen maquetas a escala para someterlas a condiciones simuladas de esfuerzos debidos al oleaje, y para comprobar su correcto funcionamiento.

El desarrollo de técnicas de simulación con ordenadores ha proporcionado un eficaz instrumento para el proyecto de puertos, que se puede utilizar tanto en el campo físico (determinación del esfuerzo que tiene que soportar un determinado rompeolas, en las peores condiciones del año, con marea alta) como en el campo social, pudiendo prever los tipos de comercio que se incrementarán y permitiendo así estimar la demanda de instalaciones portuarias necesarias en los siguientes años.

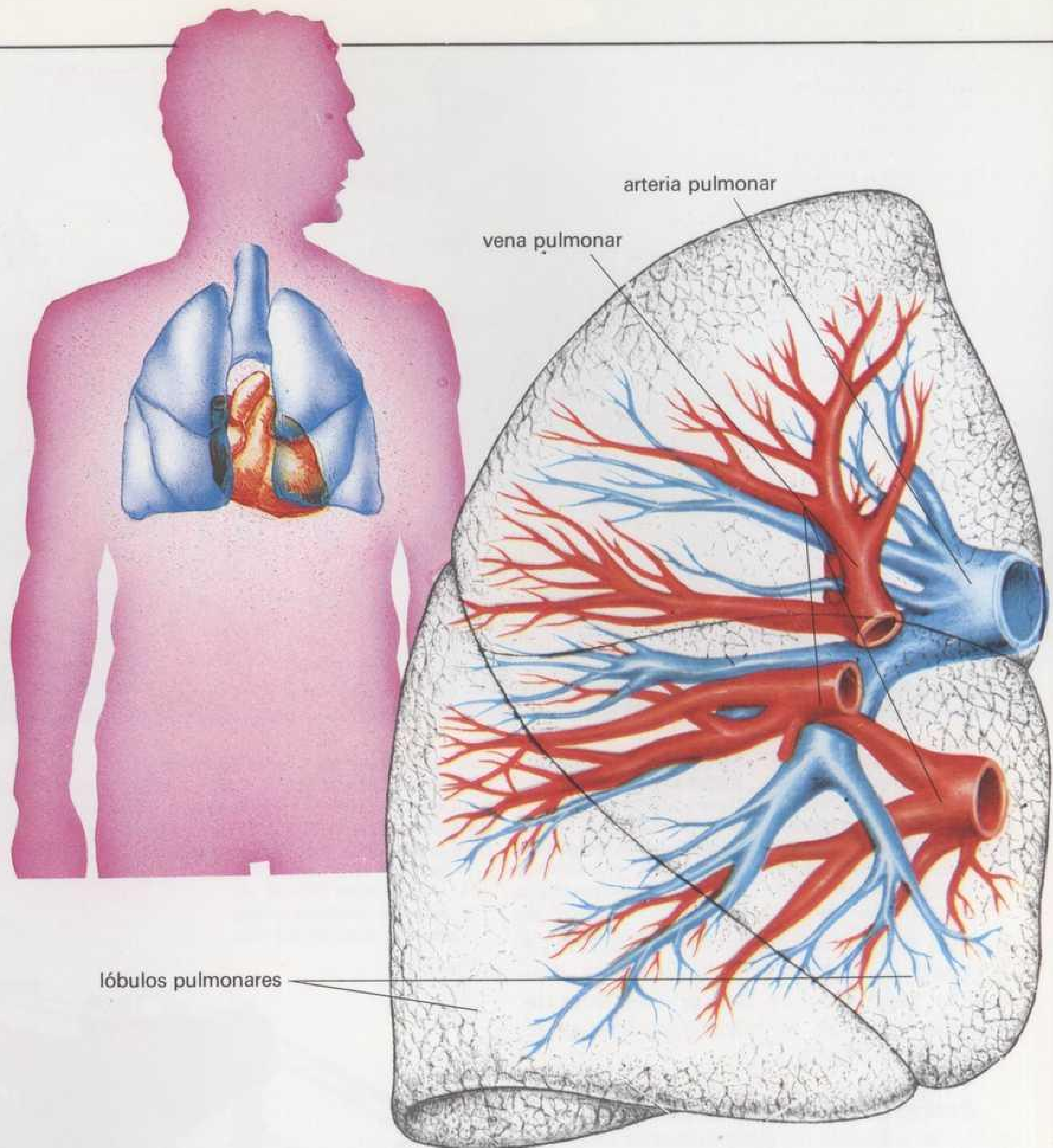


Véase **Muelle**

Pulmón

Los *pulmones*, órganos fundamentales de la respiración, están alojados en la cavidad torácica, entre la columna vertebral y el esternón. Formados por millones de minúsculos alveolos de delgadísimas paredes, que constituyen un tejido rosado y esponjoso, los pulmones ocupan una superficie ciertamente notable del organismo humano adulto. Sobre esta amplia superficie biológica (100 m^2) es donde se desarrolla la principal función de los pulmones, es decir, el intercambio de gases con la atmósfera, en el que se aporta el oxígeno a la sangre y se elimina el dióxido de carbono.

En los seres humanos los dos pulmones, derecho e izquierdo, son órganos de forma cónica que pueden tener una longitud de hasta 25 centímetros y que pesan aproximadamente 0,6 kg. Poseen una cara inferior aplanada y son redondeados en su extremo superior; se insertan como blandos y maleables cojines llenos de aire en la caja torácica, apoyados sobre el diafragma (el delgado músculo que separa la cavidad torácica del abdomen), y junto a las vías torácicas principales del cuerpo, esto es, el esófago, tráquea, arterias, venas y corazón.



Anatomía de los pulmones Se puede comparar el tejido pulmonar con el follaje de las ramas terminales de un árbol anatómico que creciera invertido desde la zona posterior de la boca hacia abajo. El tronco de este árbol está constituido por un tubo robusto y elástico que posee un esqueleto cartilaginoso y que se denomina *tráquea*. A través de la tráquea, el aire, que penetra por la nariz y la boca, alcanza los pulmones. La tráquea, como el tronco de un árbol, se bifurca en dos ramas principales, los *bronquios* derecho e izquierdo, y éstos, a su vez, se dividen sucesivamente en ramificaciones cada vez más finas, dando lugar a los *bronquios lobulares* y a los *bronquios segmentarios* que llevan el aire a los *segmentos*, unidades estructurales de los pulmones.

El pulmón derecho está dividido en tres lóbulos y el izquierdo en dos, cada uno de los cuales está constituido por varios segmentos.

Los bronquios continúan ramificándose a medida que se alejan de la tráquea, dando lugar a bronquios cada vez más pequeños. Estas ramas más pequeñas se denominan *bronquiolos terminales*. Cada bronquiolo puede subdividirse hasta 25 veces más antes de alcanzar las dimensiones más pequeñas. Existen entre 20.000 y 80.000 bronquiolos terminales en los pulmones. Para ilustrar esta progresiva disminución de tamaño señalaremos que la tráquea posee un diámetro de 2,5 centímetros, mientras que el más pequeño de los bronquiolos tiene un diámetro que apenas alcanza 1 milímetro.

Los alveolos Los bronquiolos más pequeños se dividen en minúsculos conductos llamados *conductos alveolares*, y dan entrada a reagrupamientos de cavidades semiesféricas llamadas *alveolos*. Como las uvas que se presentan en racimos, así también los alveolos se reagrupan en la parte terminal de las ramificaciones bronquiales formando los denominados *acinos pulmonares*.

Existen entre 300 y 400 millones de alveolos en los pulmones humanos y es precisamente en estas cavidades donde se produce el proceso de intercambio de gases propiamente dicho.

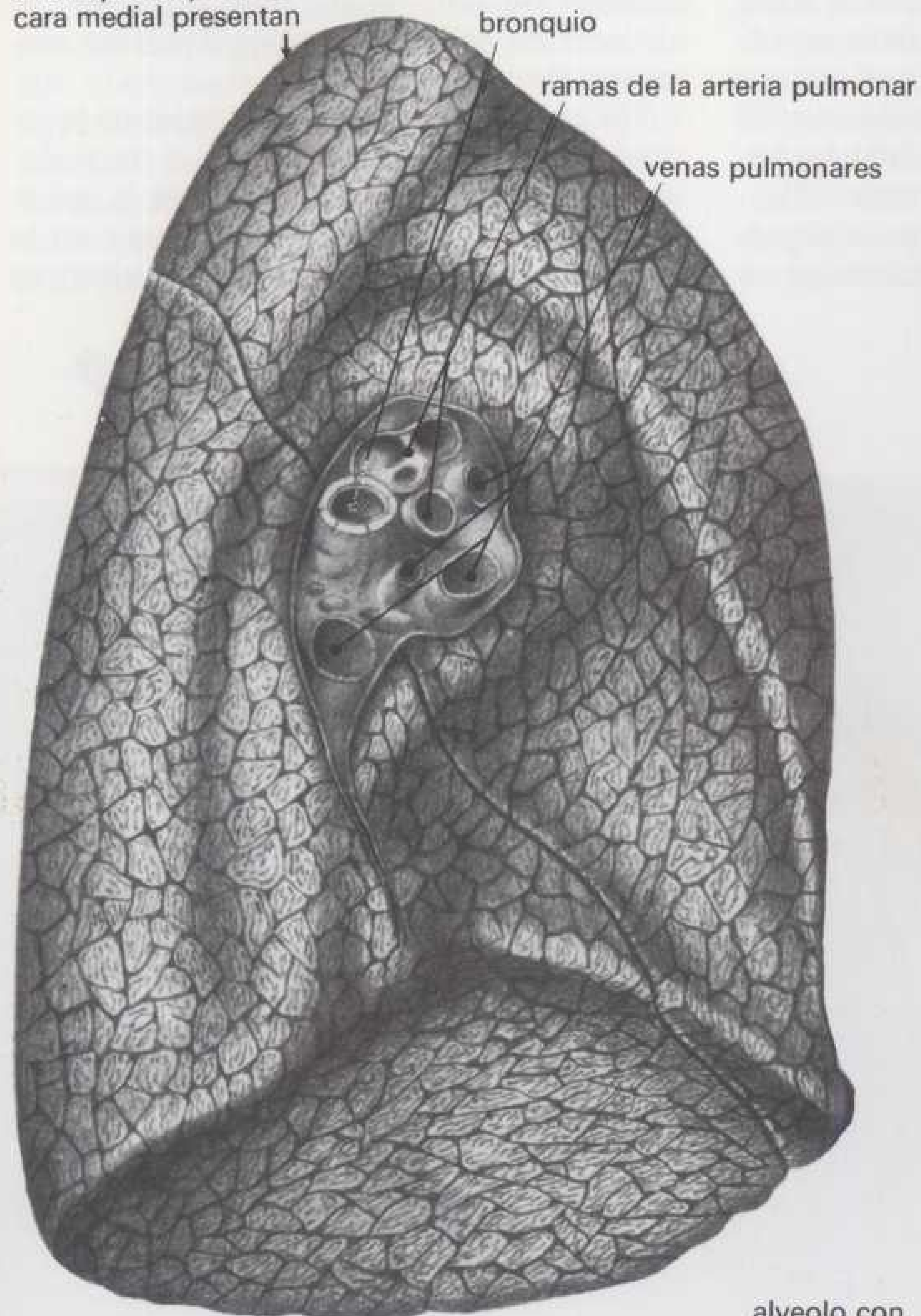
Cada alveolo puede imaginarse constituido como un pequeño balón con una delgada pared de espesor monocelular; su superficie externa está recubierta por una densa red de capilares de finísima pared (minúsculos vasos sanguíneos). Las paredes de estos capilares también poseen un espesor de una sola célula. Cuando una persona inspira, los alveolos se llenan de aire exactamente igual que un balón. La concentración de oxígeno en los alveolos es muy superior a la que existe en la sangre venosa de los capilares y por ello las moléculas de oxígeno pasan fácilmente por difusión a través de las dos paredes celulares hacia la sangre. Del mismo modo, las moléculas de dióxido de carbono que se encuentran en concentración más elevada en la sangre pasan hacia los alveolos para ser eliminadas a través de la espiración.

Los glóbulos rojos de la sangre no permanecen más de 0,7 segundos en los capilares pulmonares, tiempo suficiente para ceder el dióxido de carbono y recoger las moléculas de oxígeno. Así, las células del organismo reciben oxígeno de la sangre para el metabolismo, y el dióxido de carbono, un producto de desecho celular, es expulsado con cada respiración.

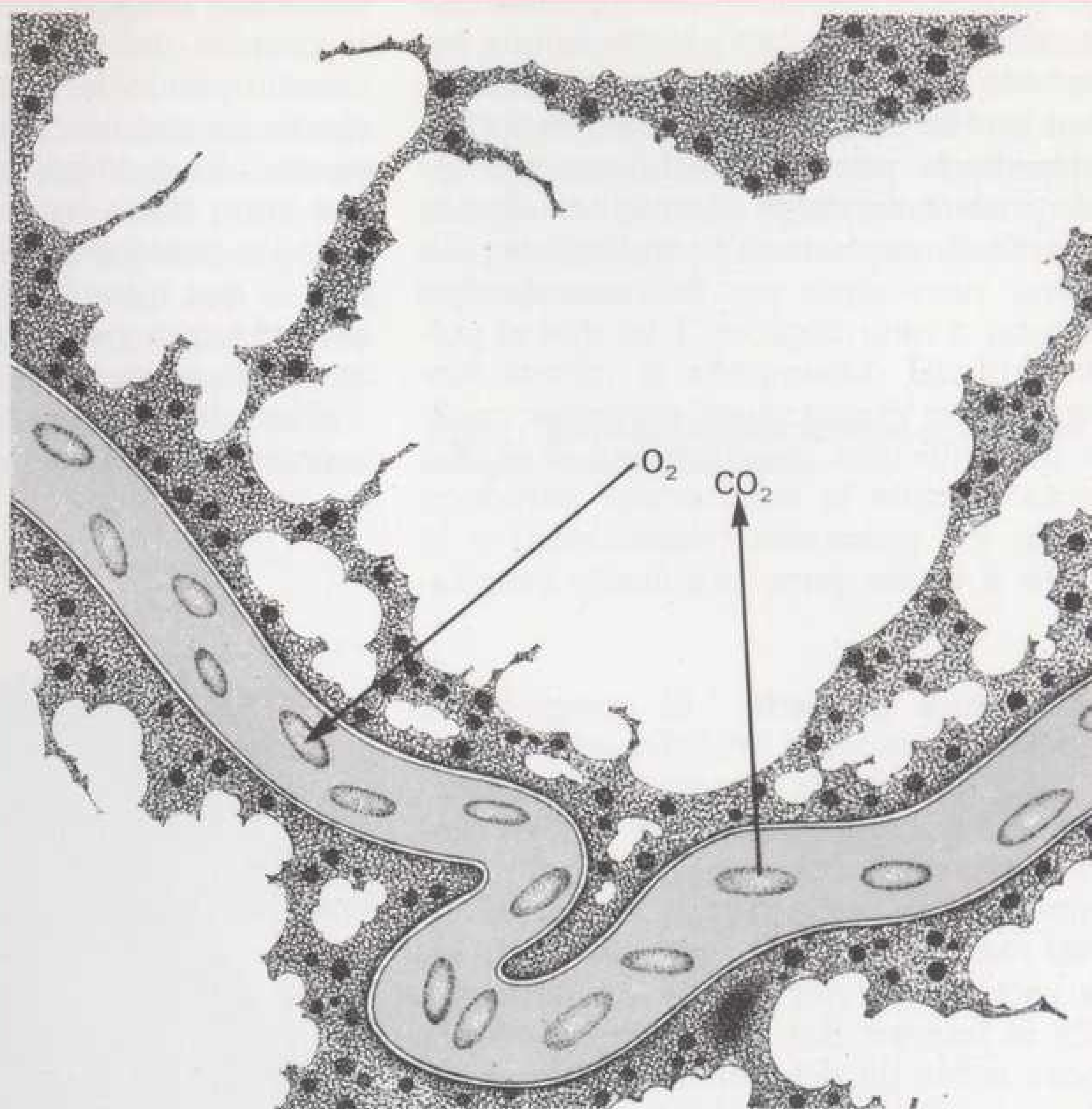
La respiración es un acto mecánico reflejo mediante el cual tiene lugar el intercambio gaseoso con la atmósfera. El hombre, por lo general, respira unas 14 veces por minuto, lo que supone la entrada de unos 7 litros de aire a los pulmones. Cuando se eleva la caja torácica y el diafragma desciende (acciones musculares reflejas), se crea una presión negativa en la cavidad en la que están contenidos los pulmones, y el aire atmosférico se dirige hacia dentro para contrarrestar dicha depresión. Este conjunto complejo de acciones es conocido como *inspiración* o *inhalación*. Cuando la caja torácica desciende y el diafragma se eleva, los pulmones se contraen y el aire es expulsado en un proceso conocido como *espiración* o *exhalación*. El tejido pulmonar esponjoso y muy elástico es un factor determinante en la dilatación y, sobre todo, en la espiración.

Véase **Nariz y fosas nasales; Respiración**

Los pulmones están situados en la cavidad torácica, de la que ocupan una buena parte (página anterior, a la izquierda). En su cara medial presentan



una región denominada hilio pulmonar, a través de la cual penetran los bronquios junto con las arterias pulmonares, y salen las venas pulmonares y los vasos linfáticos (arriba y en la página anterior). La irrigación de los pulmones está constituida por una densa red de capilares interpuesta entre las arterias y las venas pulmonares. A la derecha, reconstrucción tridimensional de los alveolos pulmonares y de un bronquiolo terminal. En los tabiques que los delimitan y en las paredes de los alveolos hay una espesa red de capilares sanguíneos gracias a la cual tienen lugar los intercambios respiratorios. Las paredes de los alveolos contienen también fibras elásticas que sirven para que las cavidades alveolares vuelvan a las dimensiones primitivas, dilatadas durante la inspiración.



Los alveolos pulmonares que constituyen las últimas ramificaciones en el fondo del saco pulmonar ofrecen las condiciones más favorables para los intercambios gaseosos respiratorios: sus paredes son monocelulares, de modo que el oxígeno del aire inspirado pueda atravesar fácilmente esta delgada barrera y las paredes de los capilares adyacentes para alcanzar la sangre.

vaso sanguíneo con glóbulos rojos

alveolo con células alveolares

red capilar perialveolar

epitelio

comunicaciones interalveolares

mucosa con células del conectivo y vasos capilares

bronquiolo terminal

musculatura lisa del bronquiolo

Pulmón artificial

El proyecto más antiguo de pulmón artificial data de 1930, fecha en que fue diseñado por Philip Drinker en la Universidad de Harvard. Desde entonces ha experimentado pocas variaciones, aplicándose preferentemente a pacientes afectos de parálisis respiratoria (incapacidad para respirar provocada por lesiones de tipo muscular o neurológico). Y es que el pulmón artificial desempeña la misma función que, en condiciones normales, realizan los músculos intercostales y el diafragma durante la respiración: introduce aire en los pulmones (inspiración) y lo vuelve a tomar para expulsarlo (espiración).

Estructura primaria El componente esencial del pulmón artificial está constituido por una amplia cámara, rígida, en forma cilíndrica, montada sobre una estructura móvil en la que puede ser colocado cómodamente el paciente. El cilindro, de metal resistente y con ventanas a los lados, está abierto por uno de los extremos.

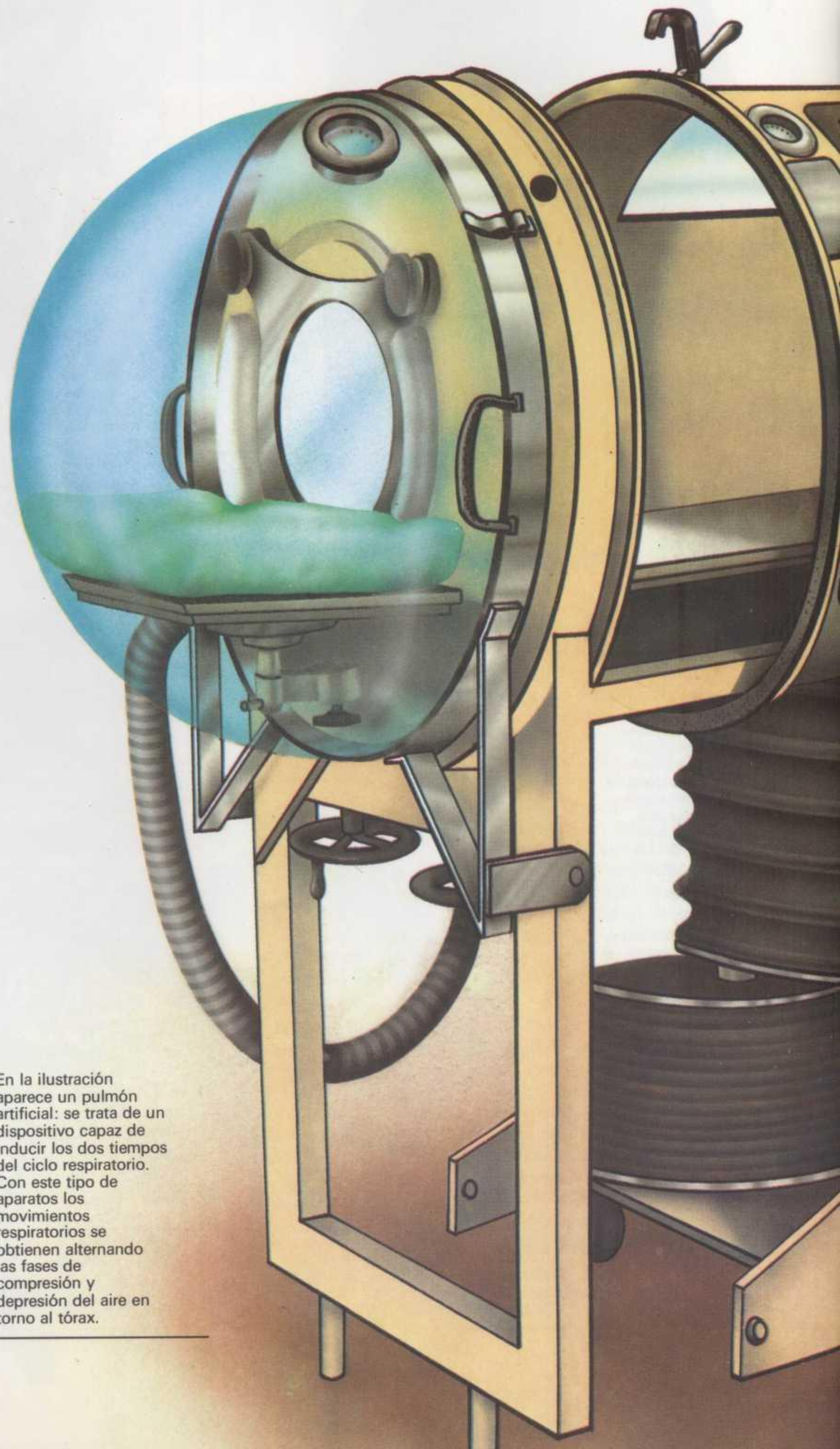
En el interior del cilindro, el paciente reposa sobre un colchón, manteniendo la cabeza en el exterior (el aparato se completa con un reposacabezas regulable y con un espejo que permite al paciente ver lo que sucede en su entorno). El cuello del paciente queda envuelto por una especie de collar que desempeña una doble función: garantiza una perfecta estanqueidad de la cámara y protege la garganta y la laringe de los riesgos de una presión excesiva.

La utilización del pulmón artificial está indicada, como ya se ha dicho, en los casos de insuficiencia de los músculos que intervienen en la respiración, como puede ocurrir, por ejemplo, en los casos de tétanos o de poliomielitis. Pero sus posibilidades son muy reducidas cuando existen alteraciones anatómicas que afectan a los pulmones, esto es, cuando la posibilidad de intercambio gaseoso en los alveolos está muy mermada. Por estas razones, este aparato ha caído en desuso, siendo sustituido por los más funcionales y manejables *respiradores automáticos de presión endopulmonar.*

Las partes móviles La cámara cilíndrica debe estar construida con un material capaz de resistir las variaciones de presión que se producen en su interior, y que son provocadas por un diafragma de fuelle, o bien por un plano móvil. Este diafragma puede efectuar movimientos no superiores a 5-6 centímetros de amplitud, suficientes, sin embargo, para imitar los movimientos respiratorios. Cuando el diafragma desciende, se reduce la presión en el interior del cilindro rígido. Como consecuencia, la presión atmosférica que se registra sobre la cabeza del paciente, así como la del aire que llega a sus fosas nasales, es mayor que la que existe en sus pulmones. Análogamente a lo que sucede en un sistema hidráulico, en donde el agua circula siempre desde los lugares de mayor presión a los de menor presión, en este caso sucede lo mismo, de forma que la presión del aire tiende a equilibrarse, constituyendo la tráquea del paciente el medio de comunicación ideal entre las zonas de alta y de baja presión. El aire fluye, por tanto, hacia los pulmones para equilibrar las presiones. El efecto es el mismo que el que tiene lugar cuando desciende el diafragma y se expande la caja torácica, es decir, se produce una inspiración.

Cuando se eleva el diafragma del pulmón artificial, se reduce ligeramente el espacio en el interior del cilindro, lo que conlleva un aumento de la presión en su interior. La consecuencia es una compresión a nivel del tórax del paciente y una emisión de aire desde los pulmones. Se obtiene, de esta forma, el equivalente mecánico de la espiración.

No obstante, en ocasiones, cuando la incapacidad respiratoria es total o muy elevada, es preciso incluso envolver la cabeza del paciente con una caperuza en la que se insufla aire y en la que se alternan



En la ilustración aparece un pulmón artificial: se trata de un dispositivo capaz de inducir los dos tiempos del ciclo respiratorio. Con este tipo de aparatos los movimientos respiratorios se obtienen alternando las fases de compresión y depresión del aire en torno al tórax.

las presiones adecuadas para provocar los movimientos inversos de inspiración y espiración.

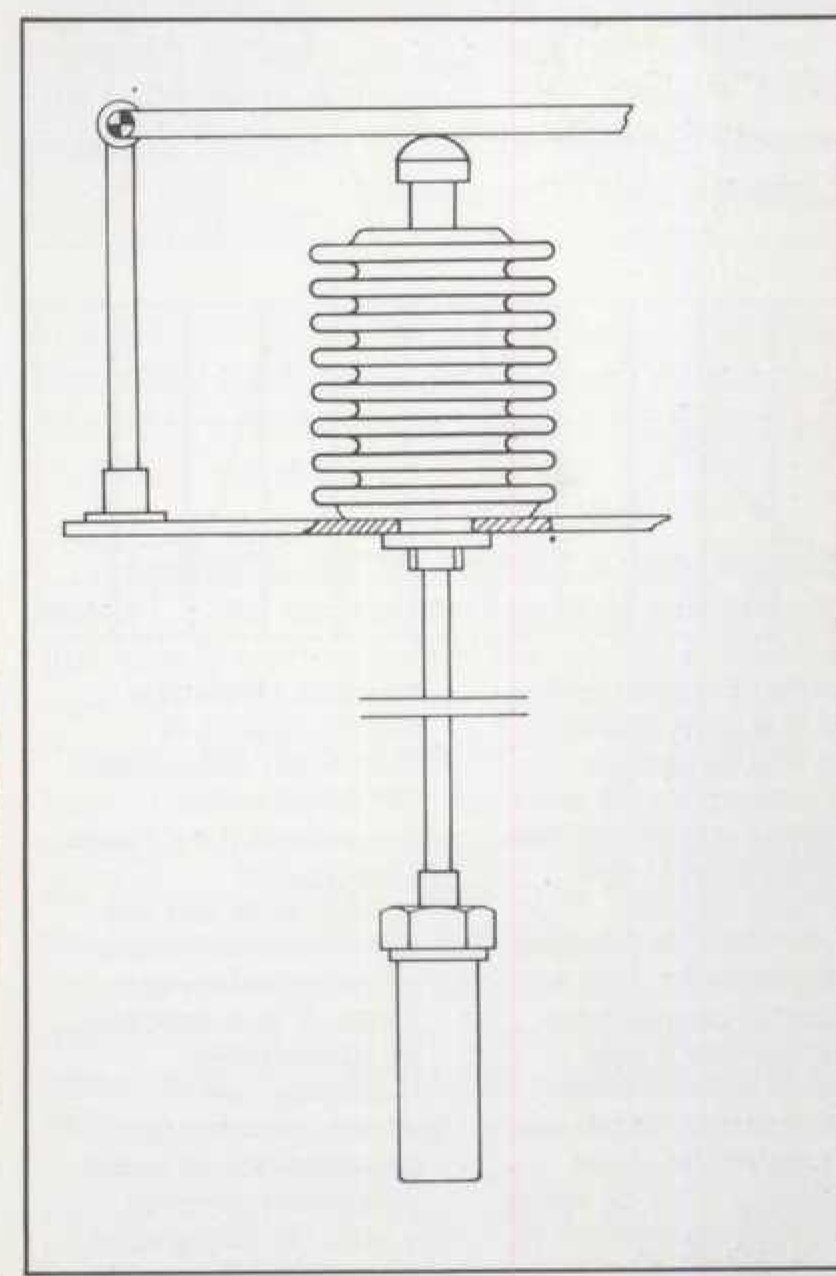
Controles regulables Los movimientos del diafragma del pulmón artificial están controlados por un motor eléctrico, cuya velocidad (y, en consecuencia, la frecuencia respiratoria) puede ser variada. Un manómetro permite controlar las presiones existentes en el interior del pulmón artificial. En el caso de interrupción de la corriente eléctrica, el diafragma puede ser accionado manualmente hasta el retorno del fluido eléctrico.

El pulmón artificial es indispensable para la recuperación del enfermo afecto de parálisis, como la provocada por la poliomielitis. Su utilización, sin embargo, es fatigosa para el paciente y no está exenta de complicaciones. Una larga permanencia en este aparato se acompaña a menudo de la aparición de úlceras de decúbito, infecciones, etc., quedando los pacientes, además, expuestos al riesgo de ahogo por inhalación de partículas sólidas de alimento.

Como ya se ha señalado, actualmente se utilizan otros tipos de respiradores, aunque el pulmón artificial sigue siendo útil para salvar vidas en condiciones de emergencia.

Véase **Hospital; Organos artificiales; Primeros auxilios; Pulmón; Respiración**

Abajo, detalle del elemento deformable que garantiza los movimientos de compresión y depresión. Una frecuencia respiratoria satisfactoria se conseguirá con 14-18 inhalaciones por minuto. En caso de necesidad, esta frecuencia puede incrementarse hasta 32 inhalaciones por minuto. La depresión induce una expansión del tórax, mientras que la compresión provoca el fenómeno contrario.



Pulsar

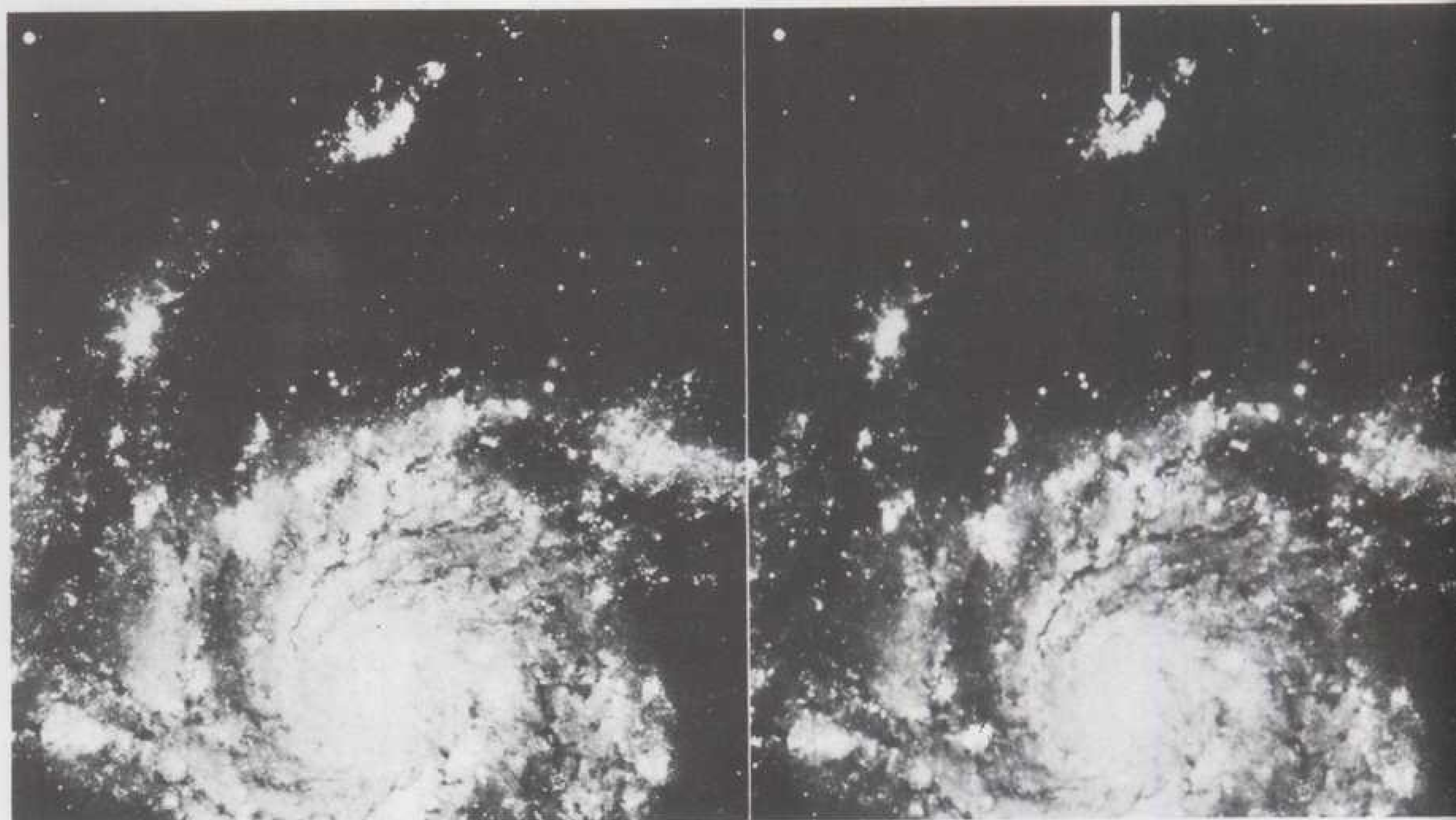
En 1967, dos astrónomos de los laboratorios Cavendish, de Cambridge (Gran Bretaña) se encontraron frente a un fenómeno totalmente inesperado. En el transcurso de una observación rutinaria con el radiotelescopio (aparato utilizado para recibir las señales de radio emitidas por cuerpos celestes lejanos), se captaron breves ráfagas de energía, como si de pulsaciones se tratara, que parecían proceder del espacio exterior. En un principio, estas señales fueron ignoradas, atribuyéndolas a algún tipo de interferencia de origen humano, aunque un estudio posterior determinó que éstas se repetían a intervalos regulares, como si se tratara del tic-tac de un reloj. Un análisis más minucioso permitió a los investigadores identificar la fuente emisora como la primera de una clase muy especial de estrellas, que posteriormente serían conocidas como estrellas radio pulsantes (*Pulsating radio stars*, abreviado como *pulsars*).

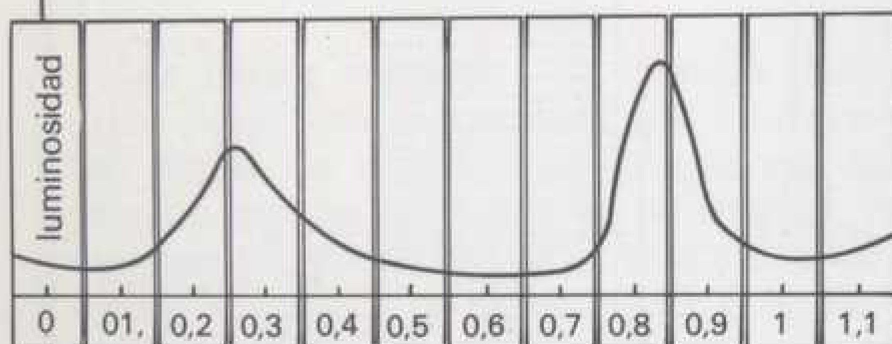
Propiedades observables Todo lo que la observación directa nos ha permitido conocer acerca de los pulsares es muy elemental y bastante limitado. Todos estos cuerpos emiten sus señales de radio a intervalos extremadamente regulares, pudiendo oscilar su periodicidad desde 0,033 segundos, hasta 3 segundos, aproximadamente. Esos períodos aumentan con el transcurrir del tiempo, aunque en una proporción prácticamente despreciable: así, por ejemplo, si quisiéramos esperar a que un pulsar duplicase su período, habrían de transcurrir, aproximadamente, unos 10 millones de años. El pulsar NP0532, situado en la nebulosa del Cangrejo, presenta un período de 0,033 segundos; es el más rápido conocido y constituye, además, una estrella visible. Se trata de un astro muy joven, extremadamente cargado de energía. Es interesante resaltar que, aunque sólo han sido observados y registrados unos pocos cientos de pulsares, resulta muy probable que, sólo en nuestra Galaxia, exista un número aproximado de 10.000.

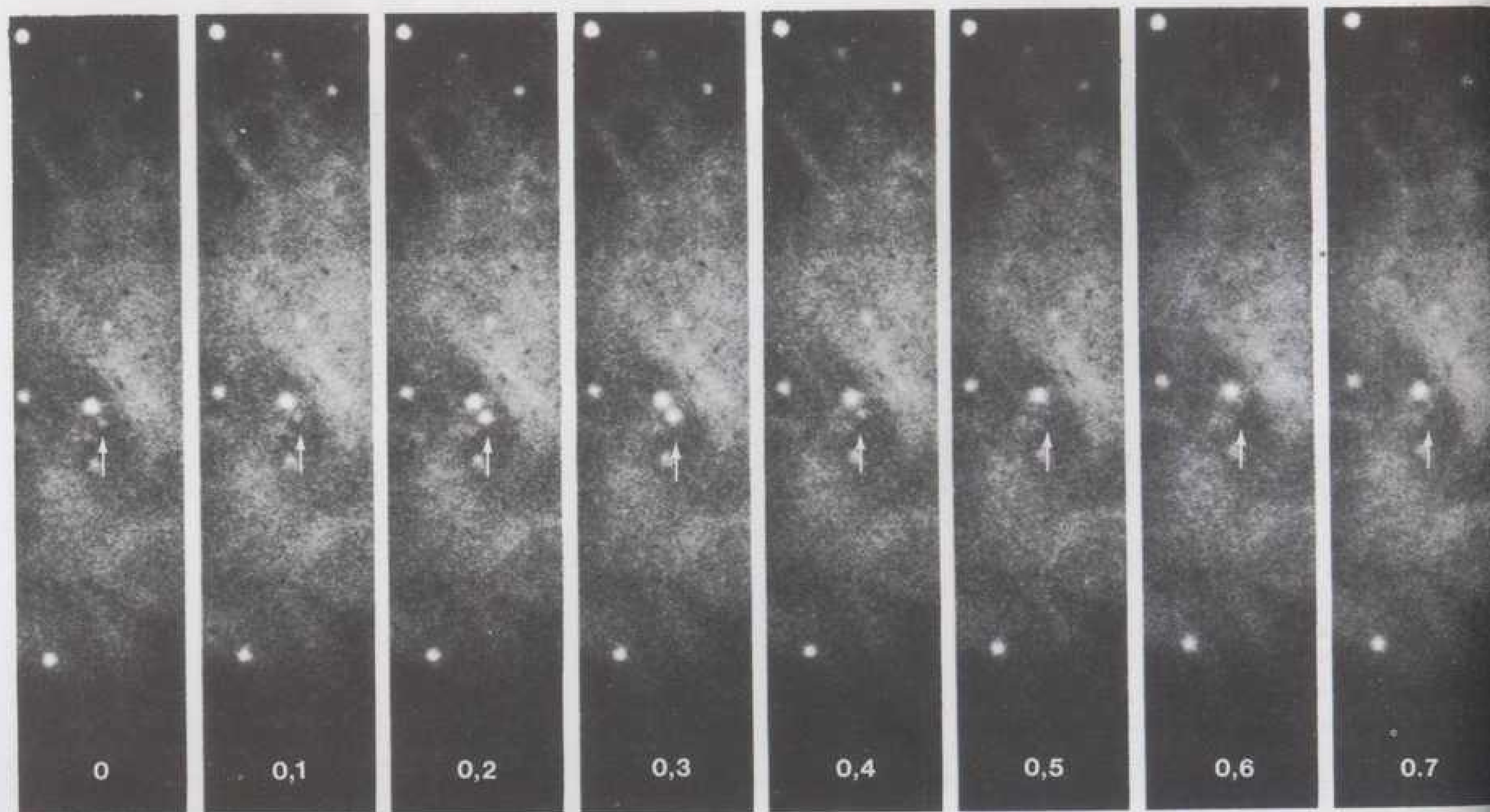
Origen Como ya veremos, las ideas acerca de la naturaleza y del comportamiento de los pulsares, se entrelazan directamente con las teorías sobre su formación. Por el momento, sólo existe una teoría ampliamente aceptada: la teoría rotatoria. Supongamos que cogemos una pelota de tenis y la colgamos de un hilo suficientemente largo; hecho esto, será posible hacerla girar sobre sí misma en torno al eje imaginario determinado por la dirección del hilo. En el caso ideal de que no existiese rozamiento o fricción con el aire, se trataría de un típico cuerpo en rotación, con un período rotacional casi constante. La Tierra, por ejemplo, tiene un período de rotación de estas características y que corresponde a un día: 24 horas constituyen el intervalo de tiempo en que nuestro planeta cumple una rotación completa en torno a su eje. Volvamos ahora a nuestra pelota de tenis e intentemos fijar sobre su superficie algún tipo de señal, por ejemplo, un alfiler. Si se la hace girar de nuevo, se observa que la señal aparece y desaparece a intervalos regulares, cuya duración, lógicamente, depende del período de rotación.

Supongamos ahora que un rayo de luz, producido por una pequeña bombilla imaginaria, sale en dirección perpendicular a la superficie de la pelota desde el punto donde anteriormente colocamos la señal: evidentemente, el haz de luz describirá un arco como consecuencia del movimiento rotatorio de la pelota. Todo lo observado mediante el experimento anterior, permite, por analogía, entender el posible comportamiento del pulsar. En efecto, si se presupone que una estrella emite una fuerte radiación desde una determinada zona de su superficie, y que, además, la estrella está animada por un movimiento de rotación, entonces, la radiación emitida, que suponemos en forma de ondas de radio, llegará ante cualquier observador, situado en el exterior, en forma de resplandores periódicos, con una frecuencia de repetición que será igual al período de rotación de la estrella.

En definitiva, según esta teoría los pulsares son como los faros de los puertos de mar: giran sobre sí mismos a elevada velocidad y emiten, a intervalos, enormes cantidades de energía. Para hacernos una idea de cuan elevada puede llegar a ser

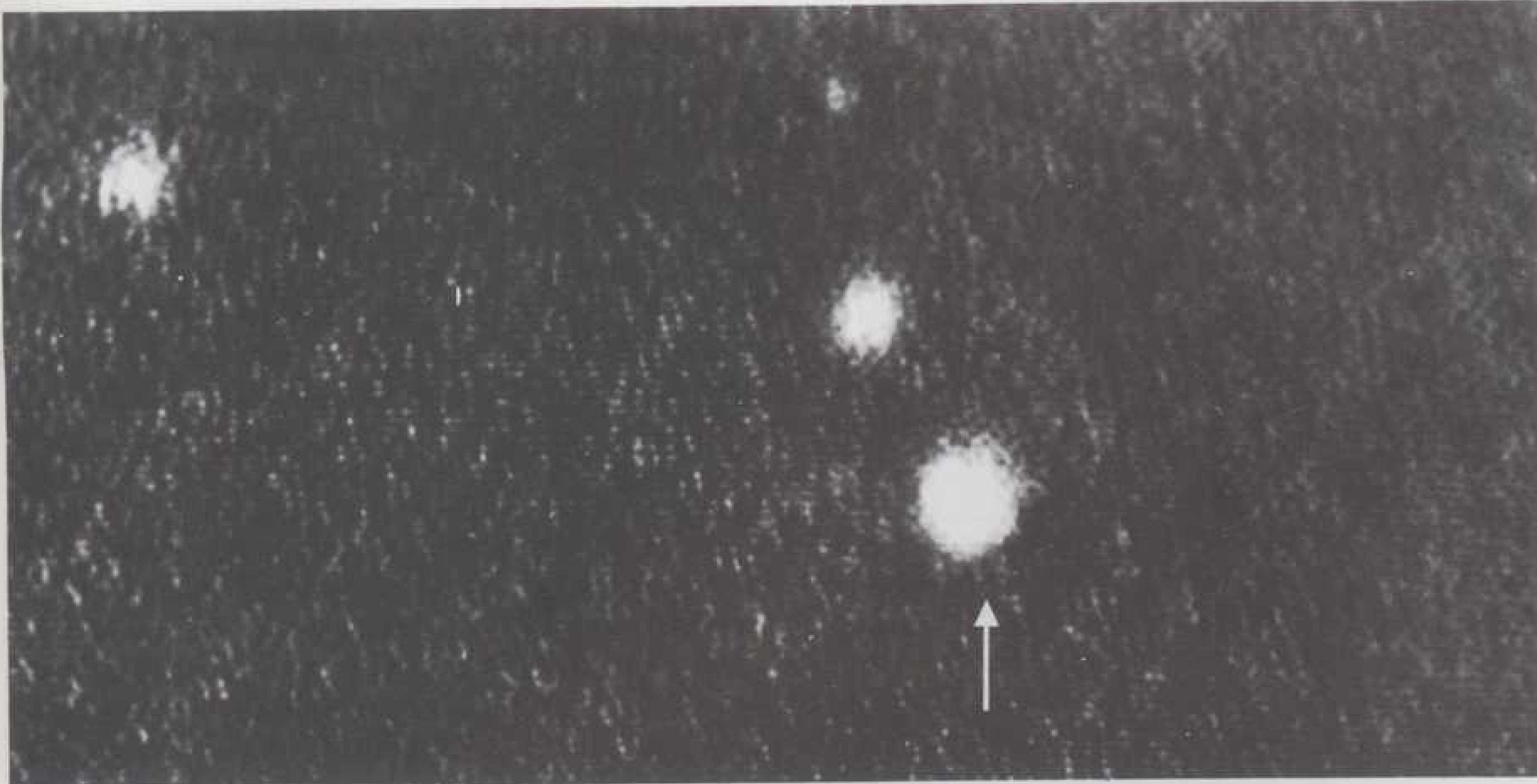






Arriba, dos fotografías de una gran galaxia. En una se aprecia la potente luz de una estrella que permanece invisible en la otra: se trata de una supernova en proceso de explosión. Son las supernovas de masa no superior a diez veces la masa solar las que dan lugar, tras su explosión, a los pulsares. Una de estas supernovas explotó en nuestra galaxia en tiempos históricos, dando lugar a la formación del pulsar NP 0532 en la constelación de Tauro. Distinguida inicialmente por sus emisiones periódicas de radioondas, se observó que también su luminosidad fluctuaba con el mismo período que las emisoras de radio (diagrama superior y serie de fotografías, a la derecha).

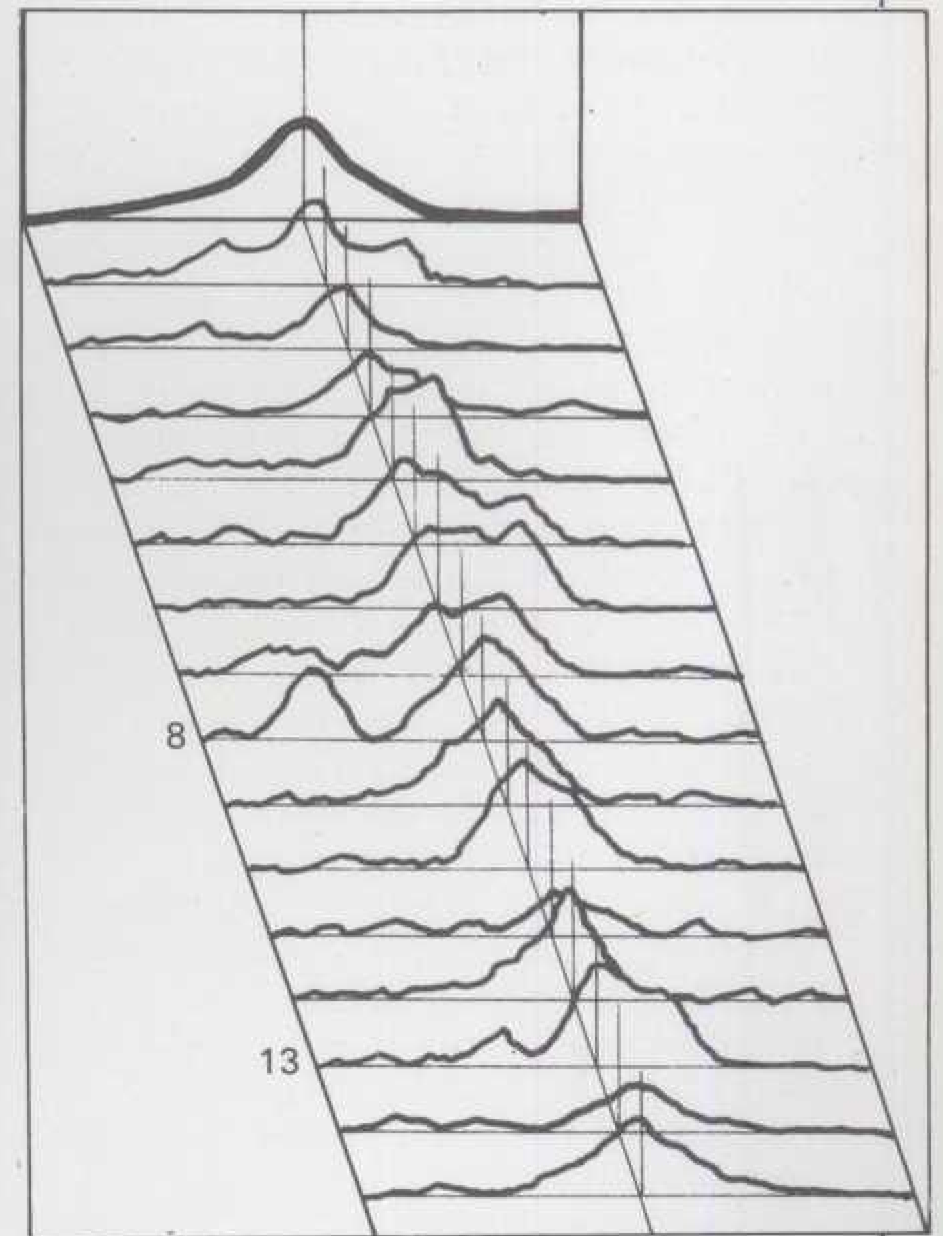
Abajo, posición del pulsar de Tauro. Son fotografías muy ampliadas tomadas mediante un potente amplificador de luz, ya que su luminosidad es débil y sus variaciones tienen lugar en fracciones de segundo. La posición del pulsar está indicada por una flecha. En el instante de mínima luminosidad, la estrella se hace casi invisible. A la derecha se muestran perfiles correspondientes a una serie de impulsos de radio sucesivos. Fijada una recta de referencia que pasa por la cresta de un impulso ideal medio, vemos que, sólo de vez en cuando, se recibe uno con dichas características (por ejemplo, el que hace el número 8 de las sucesiones). El diagrama de la parte inferior de esta página muestra la disminución con el tiempo del período de rotación del pulsar situado en la constelación de la Vela.

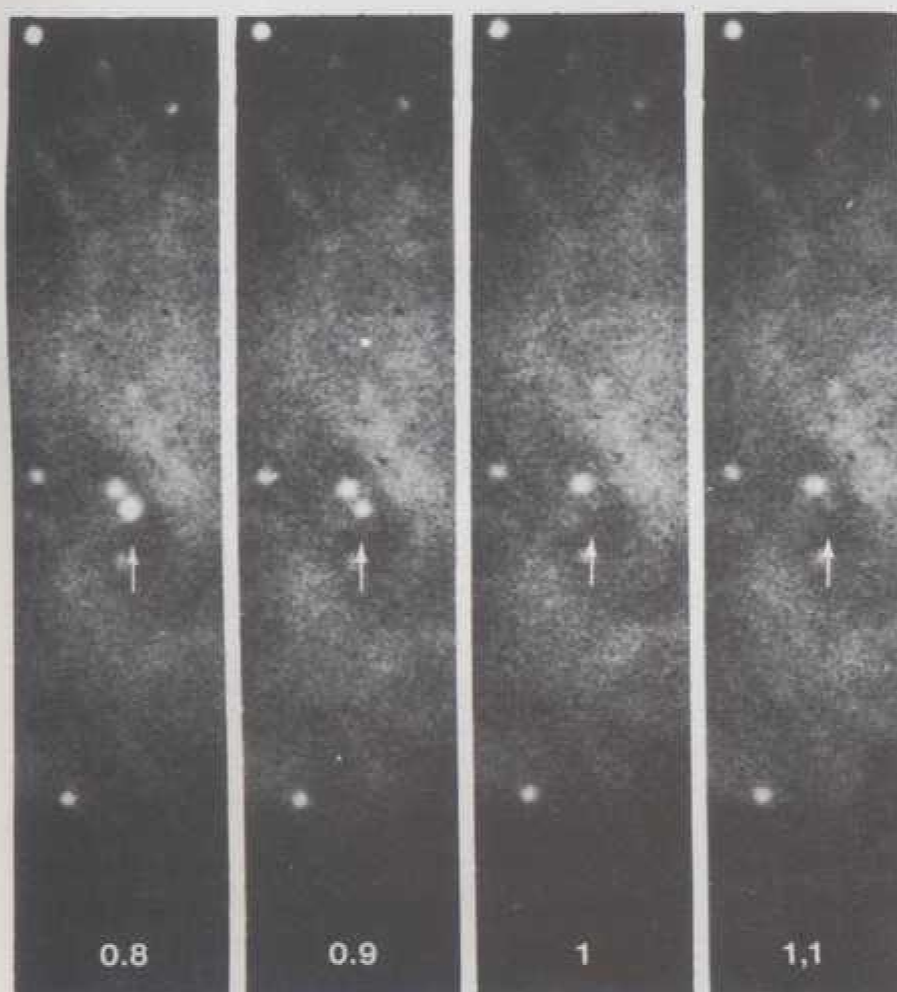


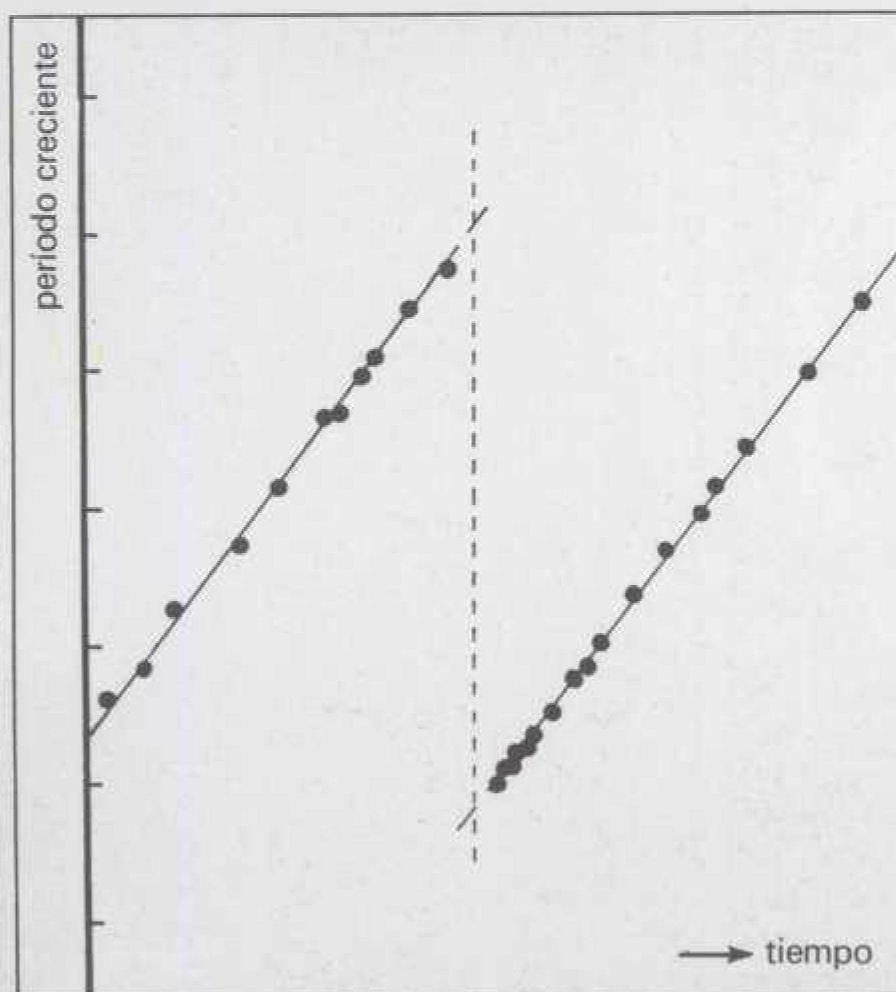


ésta, basta saber que la energía emitida por seis centímetros cuadrados de la superficie del pulsar es superior a la cantidad de energía producida por todas las centrales eléctricas de la Tierra. Esta enorme energía es la que hace posible la recepción de las señales emitidas por estas estrellas, aunque, para llegar a nosotros, tengan que recorrer distancias del orden de centenares, e incluso, miles de años-luz.

Uno de los interrogantes más polémicos que nos plantea la teoría rotacional de los pulsares, se basa en el hecho de que los períodos observados sean tan pequeños en comparación con los del Sol y la Tierra. De acuerdo con esta teoría, si recibimos una señal de radio cada segundo, tendremos que aceptar la conclusión de que, durante este tiempo, la estrella ha cumplido una rotación completa sobre sí misma y eso implica una velocidad de giro enormemente elevada, dado el volumen y la masa típica de una estrella media. Es, por tanto, fundamental profundizar nuestros conocimientos acerca de la constitución y estructura interna de estos peculiares astros.



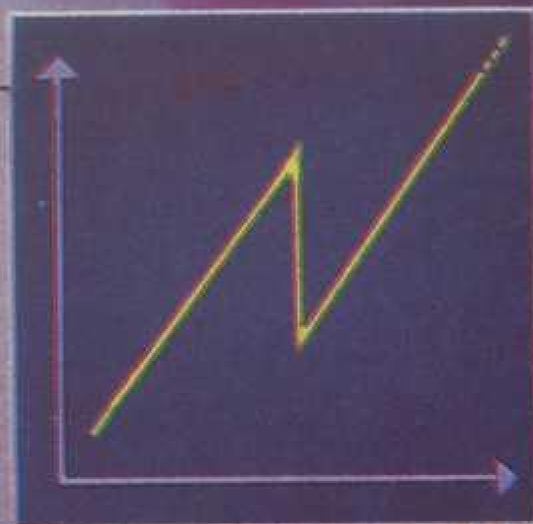


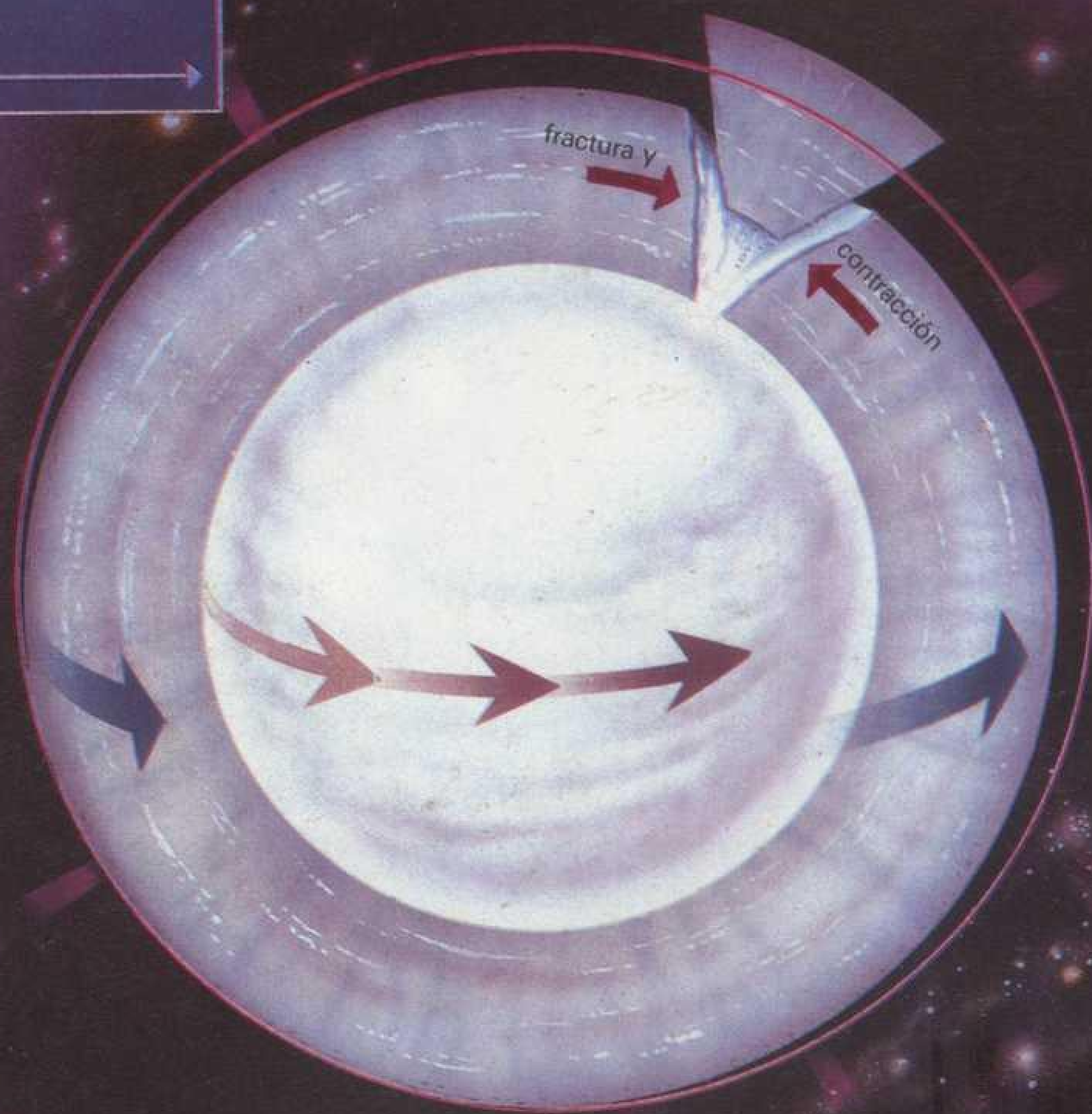


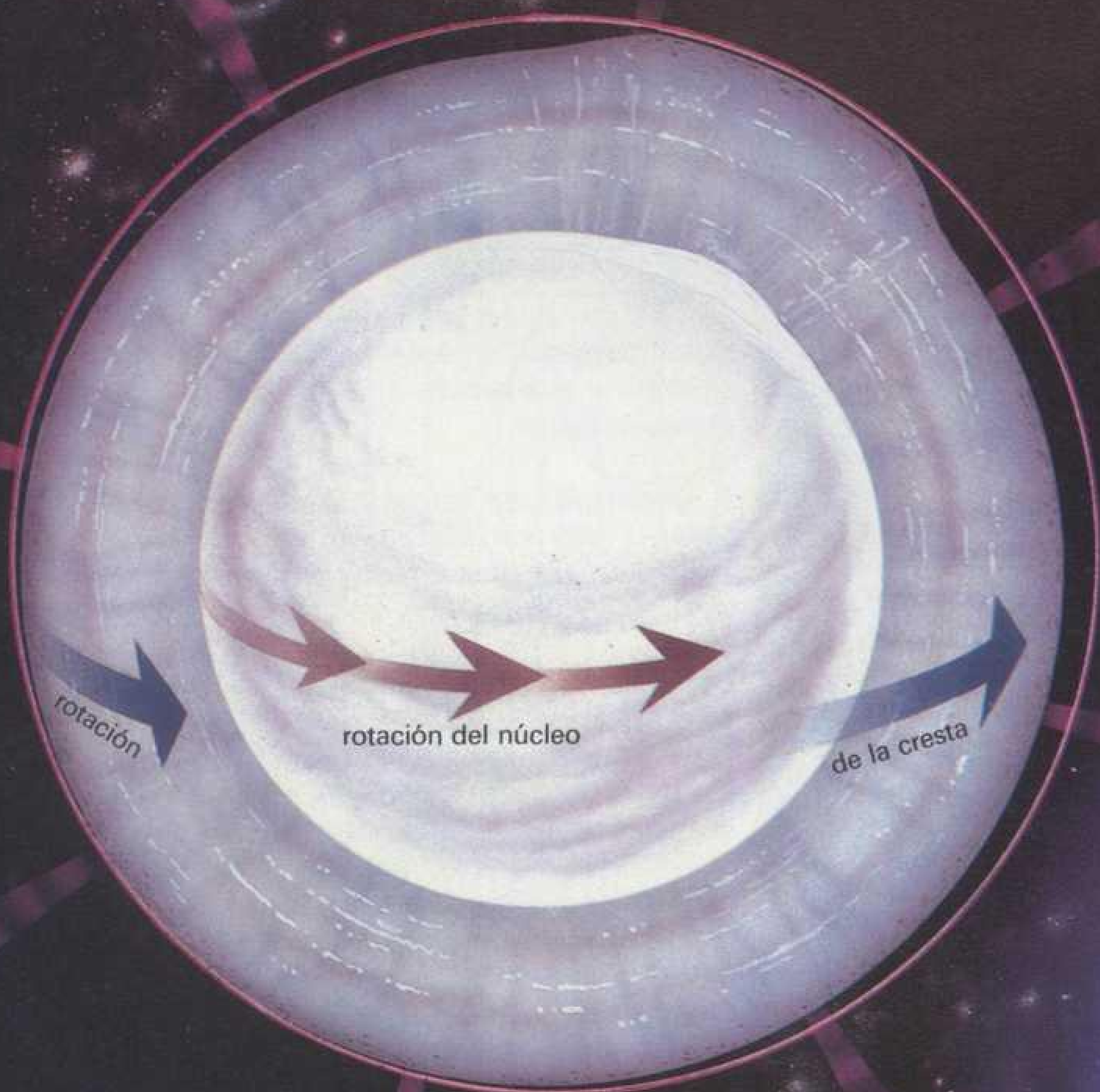
Desarrollo de las teorías sobre los pulsares Las estrellas normales, como el Sol, son a veces definidas como astros vivos, en el sentido de que emiten activamente grandes cantidades de energía y bajo muy diversas formas. Esta ingente energía tiene su origen en las reacciones de fusión termonuclear que se producen en el interior de la estrella, en su núcleo, donde a temperaturas que superan los 100 millones de grados centígrados, los núcleos más ligeros, como el hidrógeno, se fusionan para formar, sucesivamente, núcleos más pesados, como helio, carbono, oxígeno, etc. Pero así como un automóvil puede quedarse alguna vez sin gasolina,

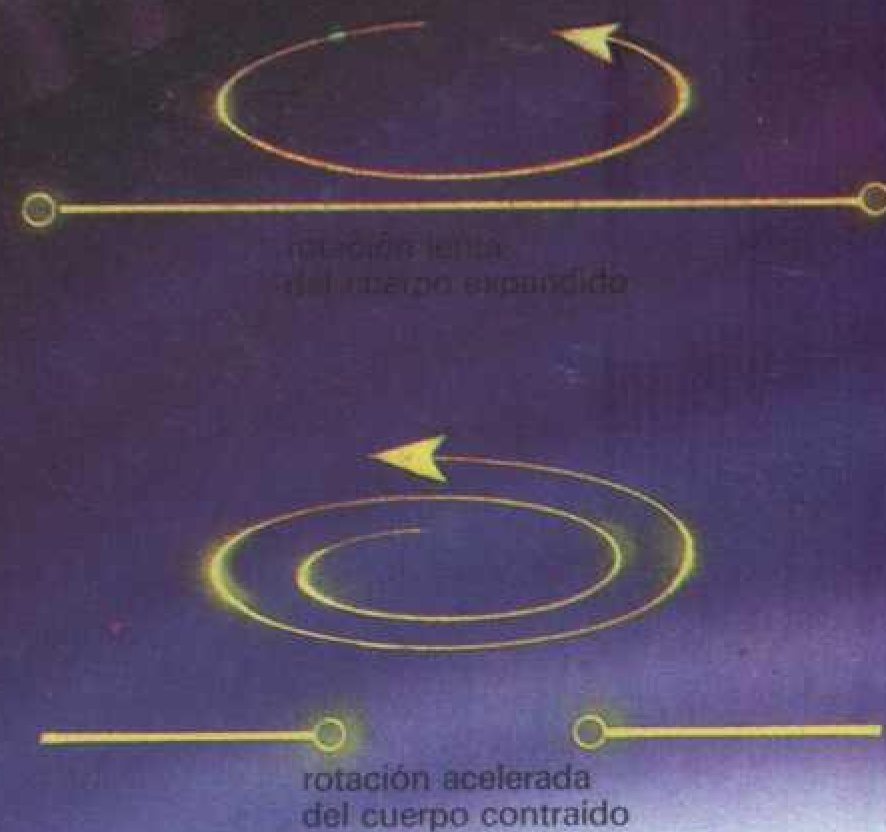
también las estrellas, en un determinado momento de su evolución, pueden llegar a agotar todo su combustible nuclear y, en consecuencia, morir. Cuando esto sucede, las enormes fuerzas generadas mediante las masivas transmisiones de energía se debilitan y se hacen insuficientes para equilibrar las elevadas fuerzas de origen gravitacional que actúan sobre las capas exteriores de estos colosales astros. De este modo, la estrella entra en un período de inestabilidad estructural en la que sólo caben dos alternativas para el futuro de la estrella, ambas dependientes de la masa de ésta: si la masa solar es inferior a 1,2 veces, se puede llegar a una situación de equilibrio en la que la contracción gravitatoria es detenida por la creciente presión de radiación interna; la estrella se convierte entonces en una enana blanca que, al haber agotado totalmente todas sus reservas de energía —tanto nuclear como gravitacional— se irá convirtiendo en una estrella densa y apagada, que se perderá en la oscuridad del espacio.

Si, por el contrario, la masa de la estrella es superior a 1,2 veces la masa solar (límite de Chandrasekhar), es probable que la estrella estalle, provocando una fulgurante explosión, llamada *supernova*, en la que se incrementa, hasta 100.000 veces, su brillo y se expulsan grandes cantidades









El diagrama superior muestra la brusca disminución del período de rotación que, a finales de los años sesenta, experimentó el pulsar de la constelación de la Vela. Este fenómeno fue considerado como una especie de terremoto estelar, dada la brusca contracción experimentada por la estrella, formada de una materia muy rígida. Al disminuir su velocidad de rotación y, en consecuencia, la aceleración centrífuga, →



pulsar


señal de radio recibida en la Tierra

California Institute of Technology
Observatorio Astronómico de Monte Wilson y Palomar

de materia, mientras que el material de su núcleo implosiona y se comprime sobre sí mismo, alcanzando densidades cada vez mayores y elevando cada vez más su temperatura. Como resultado, nos encontramos con un cuerpo mucho más pequeño, cuya masa no difiere mucho de la que anteriormente tenía, pero con un peso específico, o densidad, muchísimo mayor. Realmente, todavía no se puede afirmar con exactitud qué es lo que sucede con una estrella después de que ésta se convierte en una supernova, y sigue siendo dudoso si esa explosión con implosión deja el residuo de una estrella o si, por el contrario, se desvanece totalmente. De todos modos, sigamos considerando la primera de estas posibilidades. Es muy probable, como consecuencia de las altas temperaturas registradas durante la explosión, que el núcleo residual de la estrella se convierta en un núcleo superdenso de neutrones, con una densidad muy superior a la alcanzada por cualquier enana blanca. Este tipo de estrellas recibe el nombre de *estrellas de neutrones*. Para hacernos una idea de la densidad que se alcanza en una de esas estrellas, pensemos que si la Tierra pudiese ser comprimida hasta alcanzar un peso específico similar, su diámetro quedaría reducido a 100 metros aproximadamente.

Durante estos procesos de contracción gravitatoria, la estrella recupera eficazmente su vitalidad. La energía potencial gravitatoria ganada por una estrella de neutrones se transforma, parte en energía irradiada hacia el exterior en forma de calor, y parte en energía mecánica que origina un notable aumento de la velocidad de rotación y, por lo tanto, y lo que resulta más importante para la comprensión del pulsar, de su *momento angular*. En conclusión, la formación de una estrella pequeña y superdensa lleva asociada la aparición de un movimiento rotatorio increiblemente rápido. Esta rotación, junto con la enorme energía radiante de la estrella, da lugar a la aparición de un fuerte campo magnético cuya intensidad puede llegar a ser hasta un millón de veces superior a la del campo magnético solar.

Es precisamente este campo magnético el encargado de focalizar en un único haz las ondas de radio emitidas por la superficie del pulsar, lanzándolo al espacio a una velocidad próxima a la de la luz. Con la rotación de la estrella, el haz de radioondas se comporta como la luz de un faro de mar: gira con la estrella y sólo al pasar frente a la dirección de la Tierra puede ser captado por algún radiotelescopio, como el de Cambridge. Sólo así podemos atestiguar la presencia de un pulsar.

¿Cómo podemos asegurar que los pulsares son estrellas de neutrones y no otros cuerpos en rotación? En primer lugar, sólo una estrella con una densidad extrema podría girar sobre sí misma con una velocidad tal que permita que las fuerzas centrífugas se hagan tan grandes que únicamente un efecto gravitacional de igual o mayor intensidad podría contrarrestarlas. Con tal velocidad angular, cualquier otro cuerpo que no fuese una estrella de neutrones, incluidas las enanas blancas, se disgregaría irremisiblemente.

→ la corteza estelar puede llegar a fracturarse y contraerse, disminuyendo así el diámetro medio, lo que provoca una brusca aceleración de la rotación. En la imagen superior se observa una fotografía de la nebulosa del Cangrejo en la constelación de Tauro. En la posición indicada por el rectángulo, se encuentra el pulsar NP 0532.

La mayor parte de nuestro conocimiento sobre los pulsares es sólo fruto de conjeturas. Aunque las ideas expuestas resisten las objeciones teóricas y consiguen una explicación plausible del comportamiento de los pulsares, la investigación científica se halla muy limitada por los medios y equipos de que se dispone.

Solamente cuando nuevos medios y más sofisticados métodos de observación puedan ser utilizados, las ideas anteriormente expuestas, u otras totalmente nuevas, gozarán de plena aceptación entre toda la comunidad científica.

Véase **Agujero negro; Estrella supernova; Quasar; Radioastronomía**

Punto, labor de

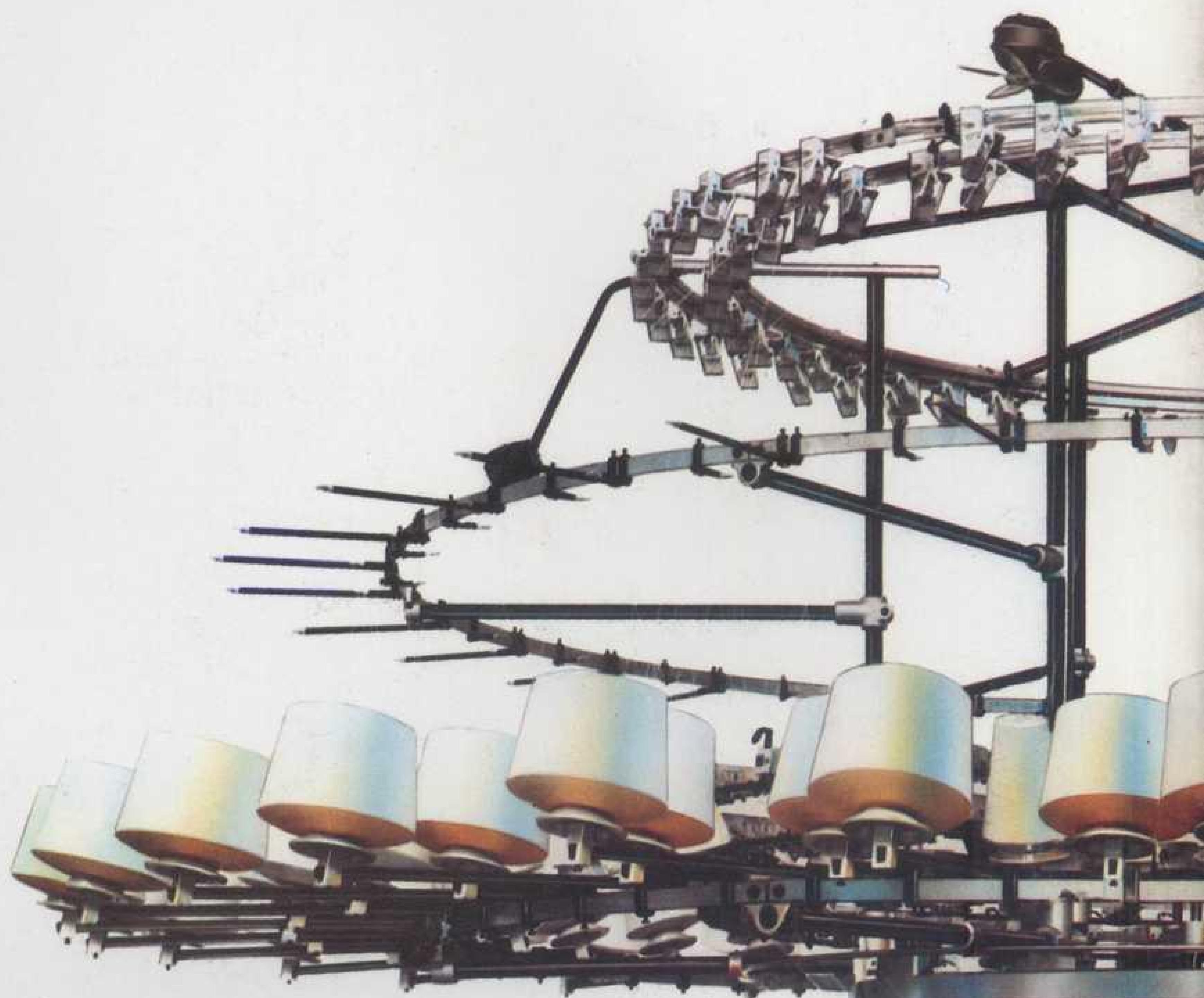
La frescura y comodidad de las prendas de punto, elaboradas tanto a mano como a máquina, han convertido este tipo de indumentaria en una parte fundamental de la moda de nuestros días. A ello ha contribuido la aparición en el mercado de hilos de calidad con colores bonitos y brillantes, así como la nueva visión de los jóvenes diseñadores.

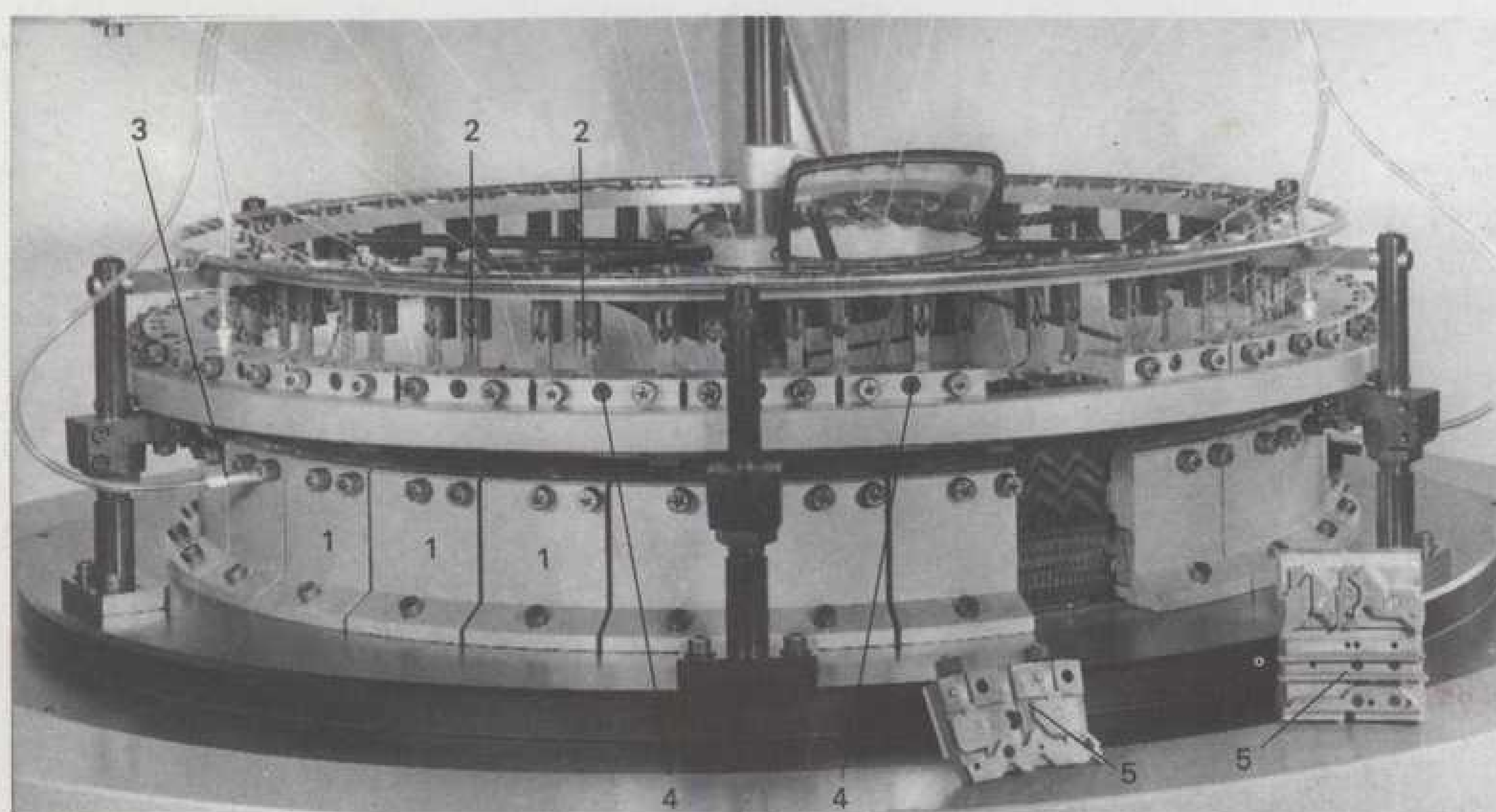
Las labores de punto son de origen antiquísimo. Parece ser que esta técnica de producción textil fue ya practicada por los pueblos nómadas dispersos en el desierto del Sinaí y Siria, en los siglos III y II antes de Cristo. Esta genial idea de fabricar un tejido utilizando un hilo único formando fila a fila puntos que se entretejen, permitía a los nómadas trabajar también durante sus desplazamientos, sin tener que recurrir al uso del telar para producir sus tejidos.

La técnica del trabajo de punto fue introducida en Europa por los árabes, de quienes los españoles aprendieron dicho arte, que luego se extendió al resto de Europa a finales del siglo XV. Parece ser que el primer taller mecánico de géneros de punto funcionó en Inglaterra hacia 1590.

A diferencia del trabajo en el telar, proceso en el cual dos series de hilados se entrecruzan, el trabajo de punto consiste en anudar un mismo hilo mediante una serie de "lazadas". En el punto hecho a mano, una serie de lazadas o anillas se transforman en tejido al pasar el hilo a través de cada una de ellas, por turno, para crear nuevas lazadas o anillas. Mediante este proceso, las lazadas o anillas originales luego cuelgan, aumentando la longitud del tejido. La anchura de éste queda determinada por el número de lazadas en las series originales. Estas lazadas o anillas son los "puntos", cada uno de los cuales tiene un nudo que queda en la parte de delante o de detrás de la labor. Cada punto está enlazado con los demás, de forma que el tejido que se forma no está seguro hasta haber rematado el último punto.

En el trabajo a máquina, el tejido de punto se forma por medio de unas agujas especiales, construidas de formas muy variadas, que derivan de dos tipos fundamentales: las de pico o muelle y las de lengüeta. La aguja de muelle consiste en una varilla de acero con uno de los extremos más fino y doblado hacia arriba. La de lengüeta tiene una varilla con un extremo plegado en forma de gancho y una lengüeta especial que gira en torno a un eje y atraviesa un pequeño fresado que se practica en la varilla de la aguja.





Entre las dos páginas, una máquina de tejer circular, denominada "regine". Esta máquina produce felpa de tres hilos: 1) pasadores eléctricos superiores de los hilos; 2) ventiladores (para la refrigeración de los hilos); 3) ensartador; 4) alimentadores de los hilos; 5) bobinas de hilo; 6) cilindro portaagujas (reproducido con detalle sobre estas líneas); 7) sistema de tiro; 8) mástil; 9) motor. En el cilindro portaagujas se aprecian los sectores portalevas (1), el guíahilos (2), el punto de lubrificación (3), los sectores portaplatinas (4) y las levas (5).

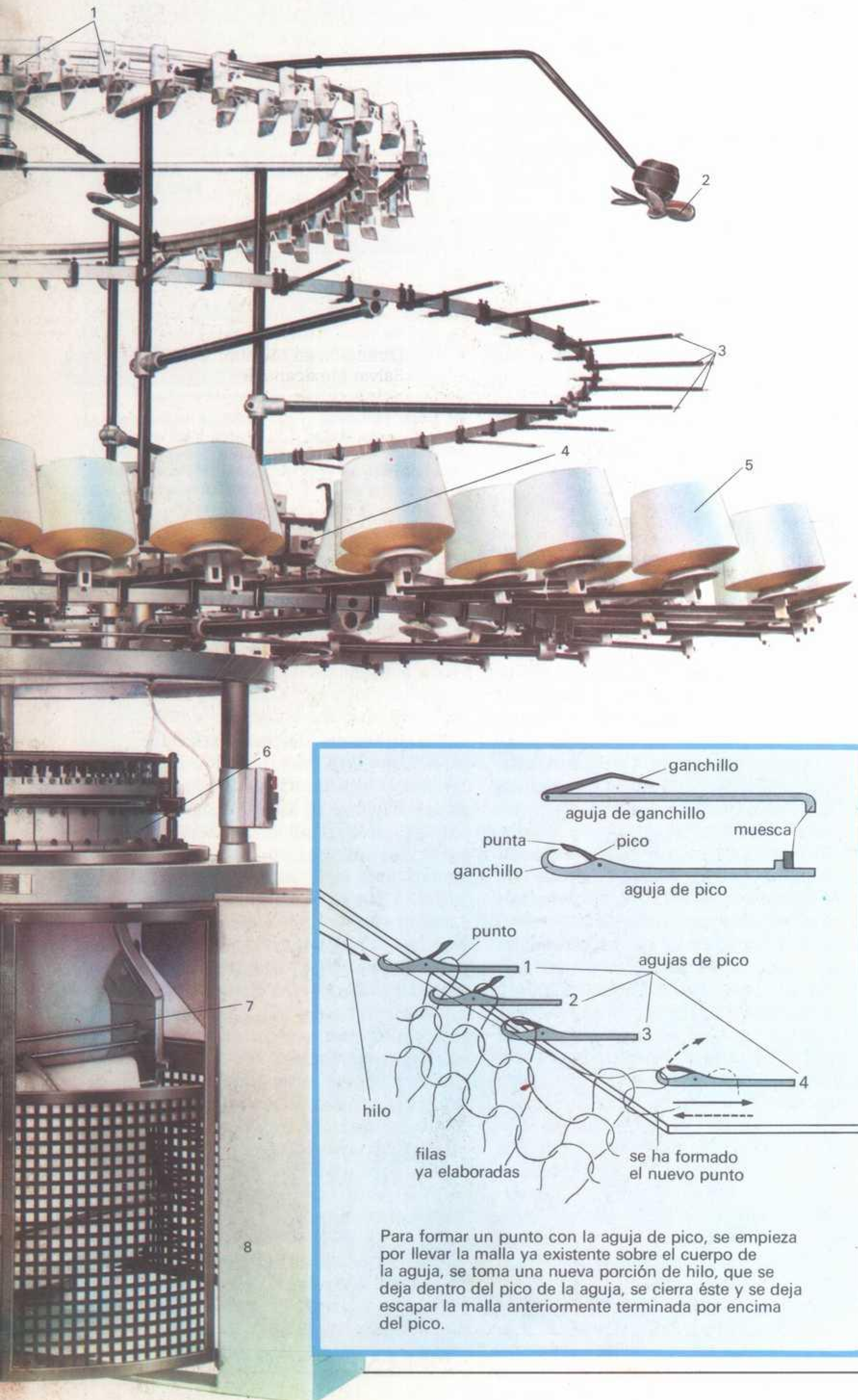
Máquinas fundamentales para la labor de punto Los dos tipos fundamentales de máquina para la labor de punto son el de ejes rectilíneos y el de ejes circulares. En las máquinas de eje rectilíneo las agujas están ordenadas en línea recta según una disposición básica típica del punto a realizar; cuando están en funcionamiento las agujas se mueven hacia arriba, formando los puntos. Esta máquina es capaz de producir piezas para indumentarias moldeadas automáticamente según las tallas, aumentando o disminuyendo el número de agujas en acción y determinando el número de puntos.

La estructura de las máquinas de ejes circulares es similar a la de las de ejes rectilíneos, pero aquí las agujas están colocadas en forma cilíndrica, produciendo un tejido tubular. El diámetro del tubo puede ser regulado para ciertas prendas sin costura, aunque la mayor parte de estas piezas tubulares son cortadas y acabadas en plano antes de dar forma a la prenda que se quiere obtener, tal como calcetines y medias.

Más de cien filas pueden ser hechas en una sola vuelta de la máquina circular: mientras que la más veloz tejedora a mano puede completar sólo alrededor de cien puntos por minuto, esta máquina automática puede producir cuatro millones en el mismo tiempo.

Ambos tipos de máquina (de eje rectilíneo y de eje circular) efectúan automáticamente el montaje de los puntos sobre las agujas.

Existen dos tipos fundamentales de punto, según el modo de formación de las mallas: de trama y de urdimbre. En el punto de trama, un mismo hilo forma bucles que se entrelazan por sucesivas pasadas. Los artículos fabricados en punto de trama son muy elásticos y extensibles, pero tienen el inconveniente de que las mallas se sueltan con facilidad. En el punto de urdimbre, una serie de hilos paralelos forman mallas en el sentido longitudinal del tejido, dando lugar a géneros de punto indesmallables.



Para formar un punto con la aguja de pico, se empieza por llevar la malla ya existente sobre el cuerpo de la aguja, se toma una nueva porción de hilo, que se deja dentro del pico de la aguja, se cierra éste y se deja escapar la malla anteriormente terminada por encima del pico.

Tipos de punto Según el tipo de prenda que se desea confeccionar se utilizan diferentes máquinas que realizan distintos tipos de punto. Para la confección de puntos ligeros se utilizan telares circulares con una sola zona de agujas colocadas horizontalmente. Los tejidos perfilados para mallería externa (medias de señora) se fabrican en telares *Cotton*, con una zona de agujas situadas verticalmente. Los telares para malla producen el tejido indesmallable. Para la confección de tejidos de malla con distintos dibujos se emplean las máquinas circulares *Jacquard*. El punto cerrado y compacto se consigue con las máquinas circulares *interlock*. Las máquinas circulares para medias se utilizan para la producción de medias sin costura, y las máquinas de doble cilindro, para hacer calcetines. Los diseñadores de moda están cada vez más atraídos por la industria del punto y han inventado nuevas formas para ofrecer originalidad en el diseño del tejido. La máquina *Rachel*, fabricada en los años sesenta, es capaz de producir tejidos delicados de lencería, encajes y motivos de red, así como puntos industriales, telones de escenarios y tapices. Los puntos especiales de los jerseys hechos a mano pueden hoy ser reproducidos a máquina. Algunos de los más conocidos trabajos de punto son el punto de elástico, punto de arroz, punto liso, punto bobo, punto del derecho, punto del revés, etcétera.

Véase **Confección industrial; Tejidos, fabricación de; Telar de *Jacquard***

Quark

El descubrimiento de los quark podría representar el final de una aventura científica tan vieja como la misma ciencia: la búsqueda de la porción más pequeña de materia. Hace doscientos años el químico inglés John Dalton, apoyándose en una antigua teoría griega elaborada por Demócrito, formuló la hipótesis de que la materia estaba compuesta por unidades elementales llamadas átomos, del término griego que significa "indivisible."

El descubrimiento de los quarks A mediados de este siglo, sin embargo, se descubrió que el átomo, lejos de ser indivisible, estaba compuesto por partículas más pequeñas. El átomo se asemeja a un sistema solar en miniatura, con partículas minúsculas cargadas negativamente, llamadas *electrones*, en rotación alrededor de un núcleo central más pesado, constituido por *protones*, cargados positivamente, y de *neutrones*, desprovistos de carga eléctrica.

A lo largo de los últimos 30 años se han observado muchas otras partículas: estos descubrimientos han sido posibles gracias a la construcción de potentes aceleradores de partículas, así como al perfeccionamiento de nuevas técnicas de observación (contadores de centelleo, de Geiger-Müller, de Cherenkov, emulsiones fotográficas trazadoras de partículas, cámaras de niebla, de burbujas, etc.).

En 1960 se descubrió que las consideradas *partículas fundamentales* de la materia —protones y neutrones— también estaban compuestas de ciertas entidades más pequeñas o *partículas superfundamentales*. En efecto, se observó que las partículas fundamentales, como el protón y el neutrón, parecían tener diversos centros, es decir, parecían constituidas por entidades granulares en diferentes posiciones y de distinta naturaleza. En el año 1963, el físico Gell-Mamm formuló las primeras hipótesis sobre la existencia de tales corpúsculos granulares de materia, a los que denominó *quarks*. El término quark fue tomado de un pasaje bastante oscuro de *Finnegan's Wake*, de James Joyce: "Three quark for Muster Mark... ". Parece ser que a Gell-Mamm le pareció una designación oportuna para estas nuevas entidades, que mostraban un comportamiento tan extraño y unas propiedades tan absolutamente nuevas en el campo de la Física de partículas como tener una carga fraccionaria (1/3 e ó 2/3 e) respecto a la del electrón, o que su existencia fuera sólo posible en el interior del núcleo.

En un principio, los quarks no fueron considerados como partículas efectivamente existentes, sino tan sólo como conceptos abstractos que eran de gran ayuda en la interpretación de un gran número de procesos y comportamientos físicos. Sin embargo, rápidamente comenzaron a acumularse las pruebas de que los quarks eran partículas propias y reales.

La existencia de estas nuevas partículas ha abierto grandes espectativas en la comprensión de fenómenos físicos, hasta hace poco totalmente inexplicables; éste es el caso de las interacciones entre partículas y su interpretación como el resultado del intercambio de estas nuevas partículas entre sí. Como sabemos, existen en la Naturaleza cuatro formas de interacción: la fuerte, la débil, la electromagnética y la gravitatoria. El cómo se transmitían estas fuerzas y quiénes eran los encargados de llevarlas a cabo constituía un misterio. Experimentalmente se podía comprobar, por ejemplo, cómo al situar una carga eléctrica en el vacío, ésta generaba un campo eléctrico a su alrededor que se manifestaba ejerciendo una determinada acción sobre otra carga situada a una cierta distancia. Experimentalmente, también se podían deducir unas leyes que medían la intensidad de esta acción y sus características. Sin embargo, la verdadera cuestión que quedaba sin resolver era saber quién realizaba la función de trasmitir esa interacción, quiénes eran los intermediarios encargados de propagar y ejercer esas fuerzas. En la actualidad se sabe que la interacción electromagnética resulta del intercambio de fotones entre las partículas cargadas. Igualmente, se piensa que la interacción gravitacional entre dos cuerpos se trasmite por intermedio de unas partículas llamadas *gravitones* (hasta ahora sin descubrir). Análogamente, mediante el intercambio de otras partículas, también parece haberse explicado satisfactoriamente las interacciones nucleares fuerte y débil.

PROPIEDADES	QUARKS CONSTITUYENTES u		u		d		HADRONES PROTON (P)
Espín (J)	(1/2, 1/2)	+	(1/2, 1/2)	+	(1/2, −1/2)	=	(1/2, 1/2)
Carga eléctrica (Q)	2/3	+	2/3	−	1/3	=	+1
Número bariónico (B)	1/3	+	1/3	+	1/3	=	+1
Extrañeza (S)	0	+	0	+	0	=	0
Encanto (C)	0	+	0	+	0	=	0
			d		$\bar{d}$		PION (π^+)
Espín (J)			(1/2, 1/2)	+	(1/2, −1/2)	=	(0,0)
Carga eléctrica (Q)			2/3	+	1/3	=	+1
Número bariónico (B)			1/3	−	1/3	=	0
Extrañeza (S)			0	+	0	=	0
Encanto (C)			0	+	0	=	0
			c		$\bar{u}$		MESON ENCANTADO (D^0)
Espín (J)			(1/2, 1/2)	+	(1/2, −1/2)	=	(0,0)
Carga eléctrica (Q)			2/3	−	2/3	=	0
Número bariónico (B)			1/3	−	1/3	=	0
Extrañeza (S)			0	+	0	=	0
Encanto (C)			1	+	0	=	+1

En las tablas superiores se indican tanto los tipos como las propiedades de los quarks que intervienen en la constitución de tres partículas elementales, o hadrones. La validez de las hipótesis sobre la descomposición de las partículas en quarks se comprueba estableciendo si estas combinaciones pueden, en efecto, explicar todas las propiedades de las partículas que forman. El punto de partida de este método de investigación física es, por tanto, establecer hipótesis sobre las propiedades formales de los quarks, y confirmarlas a través de los resultados. Esta teoría, sin embargo, sigue haciendo uso de capítulos especiales de la Mecánica cuántica que se aplican para explicar las leyes del enlace y las ulteriores propiedades de las partículas compuestas. Estas propiedades formales de combinación son fáciles de intuir; las leyes cuantomecánicas son, por el contrario, muy complejas.

Clasificación de las partículas Las partículas fundamentales se agrupan en familias y se identifican según tres cantidades básicas: la masa, la carga, y el espín. Las tres familias fundamentales de partículas que constituyen la materia son: los *leptones*, los *quarks* y los *bosones*.

Tanto los fotones como los gravitones anteriormente mencionados, responsables de la interacción electromagnética y gravitacional respectivamente, son ejemplos de bosones. Un determinado grupo de estos últimos, los llamados *bosones vectoriales intermedios* o *bosones débiles*, son los responsables de la trasmisión de ciertos tipos de radiación (interacción débil) relacionada con los leptones, mientras que la interacción fuerte entre los quarks es transportada por gluones coloreados.

Los leptones se caracterizan, fundamentalmente, porque no experimentan la interacción fuerte, lo que implica que se encuentran siempre fuera del núcleo, ya que este tipo de fuerza es la que mantiene unidos a los *nucleones* (partículas que forman el núcleo). Se conocen seis tipos de leptones, cada uno formado por una partícula y un neutrino asociado, y, por lo

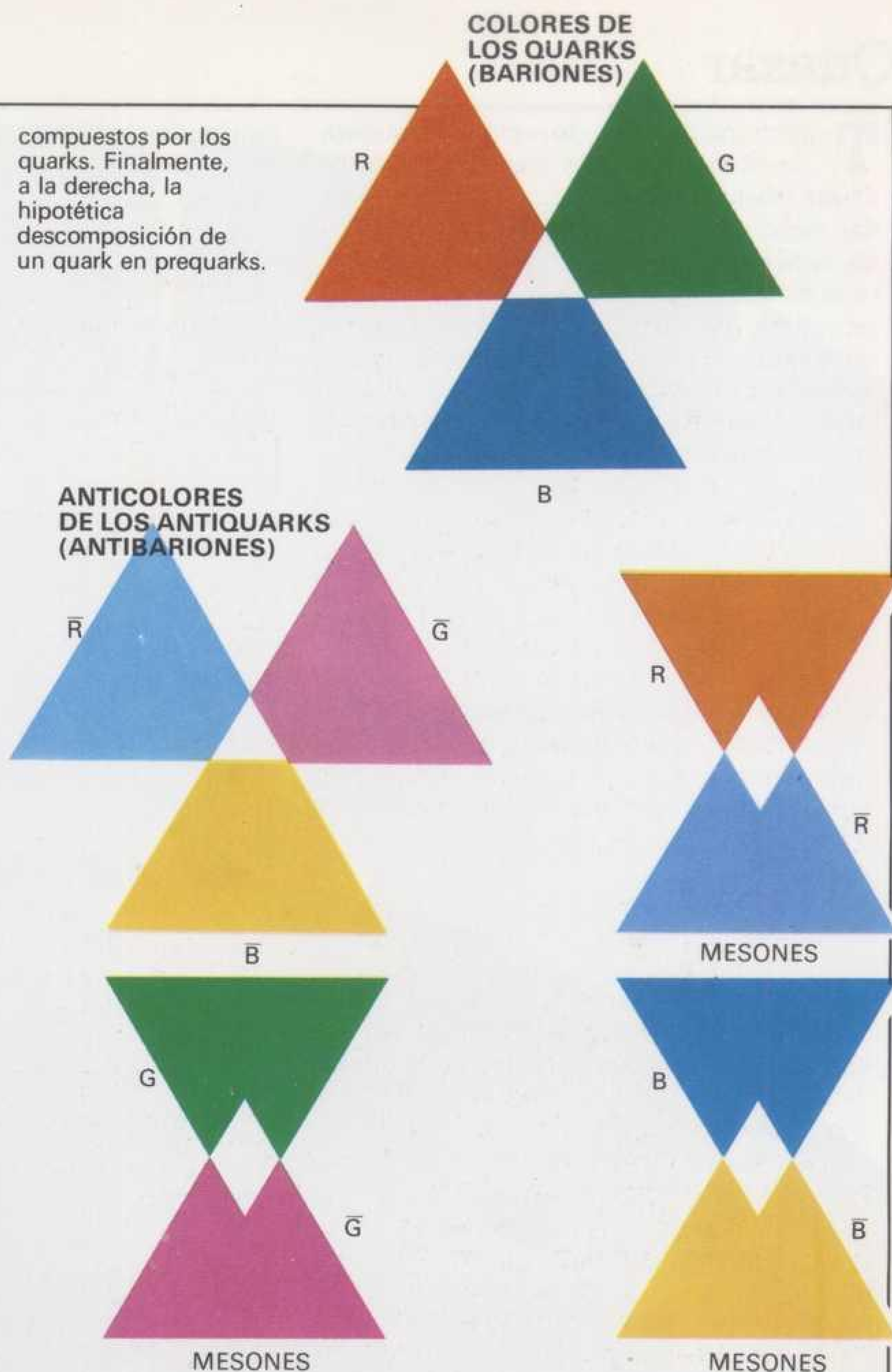
general, se encuentran siempre individualmente.

Los quarks se agrupan en tres clases diferentes, cada una de las cuales está formada por quarks y antiquarks. La primera está compuesta por *quarks up* (arriba) y *quarks down* (abajo); la segunda, por *quarks strange* (extrañeza) y *quarks charm* (encanto); y la tercera, por *quarks beauty* (belleza) y *quarks truth* (verdad).

Cada combinación particular de quarks determina el tipo de partícula formada. El protón, por ejemplo, está compuesto de dos *up* y de un *down*, mientras el neutrón está compuesto de un *up* y de dos *down*. Casi toda la materia del Universo, por tanto, está constituida por *quarks up*, por *quarks down* y por electrones.

Una partícula constituida por quarks se llama *hadrón*, es decir "grueso." En particular, un hadrón constituido por tres quarks, como el protón o el neutrón, se llama *barión*, es decir "pesado", mientras un hadrón de dos quarks (en realidad, de un quark y de un antiquark) se llama *mesón* ("medio.")

Las propiedades de las partículas estan determinadas por las propiedades de los quarks que las constituyen. Cada *quark up*, por ejemplo, tiene una carga eléctrica igual a +2/3, mientras que cada *quark down* tiene una carga eléctrica igual a —1/3. El protón, compuesto de dos *up* y un *down*, tiene por tanto una carga eléctrica igual a + 2/3 + 2/3 – 1/3, es decir, +1. El neutrón, que está formado de dos *down* y de un *up*, tiene por lo tanto una carga eléctrica igual a +2/3 -1/3 -1/3 = 0, es decir nula.



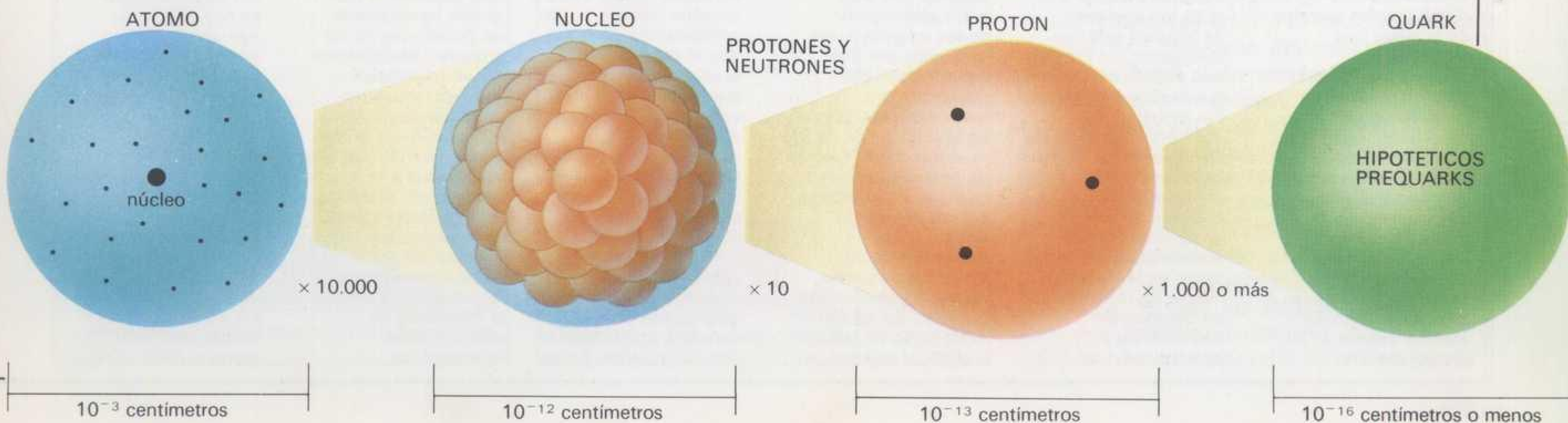
En el esquema adjunto se ve cómo se pueden combinar los quarks para obtener partículas conocidas y de las cuales se sepan algunas propiedades. Por ejemplo, arriba, las combinaciones de tres quarks dotados de "colores" complementarios que se suman para formar la partícula, un hadrón, que en cambio tiene la propiedad de ser "incoloro". Los otros esquemas demuestran que, con los colores básicos y sus mezclas se pueden componer otras partículas, además de los hadrones, que resultan ser las únicas selecciones posibles en el mundo físico. Abajo, la progresión en la subdivisión de la materia. A la izquierda, los átomos, que ya habían sido "descubiertos" por los filósofos antiguos, aunque en la actualidad presentan una construcción muy distinta de la que inicialmente se les atribuía, y que, sobre todo, no son, como se creía, indivisibles. El núcleo de los átomos (segunda esfera) está formado por los nucleones. En la tercera esfera se ven los nucleones, compuestos por los quarks. Finalmente, a la derecha, la hipotética descomposición de un quark en prequarks.

Los quarks en la saca Mientras que nuestros conocimientos sobre las propiedades de los quarks han aumentado notablemente, no podemos decir lo mismo sobre algo tan vital como su estado en el interior de los hadrones.

La representación más generalizada e intuitiva sobre las partículas hadrónicas se basa en el denominado modelo de *forma de saca*, según el cual es posible comparar al hadrón con una pequeña saca en cuyo interior se encuentran dos o tres quarks, según se trate de un mesón o de un barión respectivamente. En el interior de la saca los quarks podrían moverse libremente, aunque manteniéndose siempre próximos y sin traspasar los límites de ésta.

Los quarks pueden saltar de una saca a otra durante las interacciones nucleares (produciéndose así la transformación de un hadrón en otro distinto), pero no pueden, en modo alguno, existir fuera de una saca en la que no haya, simultáneamente, por lo menos otro quark. Si es cierto que una saca no se puede nunca "vaciar" y que un quark no puede ser concebido como una entidad aislada y con existencia propia fuera del hadrón, entonces podría no tener sentido preguntarse en qué consisten los quarks por sí mismos. Sin embargo, algunos científicos comienzan a sospechar que también los quarks y los leptones pueden tener una estructura propia interna. En efecto, cada generación de quark es más pesada que la precedente: primeramente *up* y *down*, después *strange* y *charm*, y, a continuación, *beauty* y *truth*. A algunos científicos esto les recuerda el hecho de que los núcleos atómicos más pesados se forman con un número creciente de protones y de neutrones. Los seis quarks conocidos y los seis leptones podrían quizás dar una respuesta definitiva al gran interrogante sobre la formación de la materia en el Universo.

Véase **Acelerador lineal; Acelerador de partículas; Atomo; Física de partículas**



Quasar

Transcurridos más de veinte años desde el momento de su descubrimiento, los *quasares* (contracción de *quasi stellar radio sources* o *fuentes quasi estelares de radio*) seguían sumiendo a los astrónomos en un estado de perplejidad, hasta el punto de que alguno llegó a calificarlos, en el transcurso de una conferencia, como "imprevisibles comediantes cósmicos." En la actualidad, la opinión general coincide en considerar los quasares como núcleos altamente luminosos de galaxias lejanas. Sin embargo, existe una gran diversidad de opiniones con respecto al origen de la enorme cantidad de energía que irradian, y que puede hacerles hasta 100 veces más luminosos que una galaxia normal.

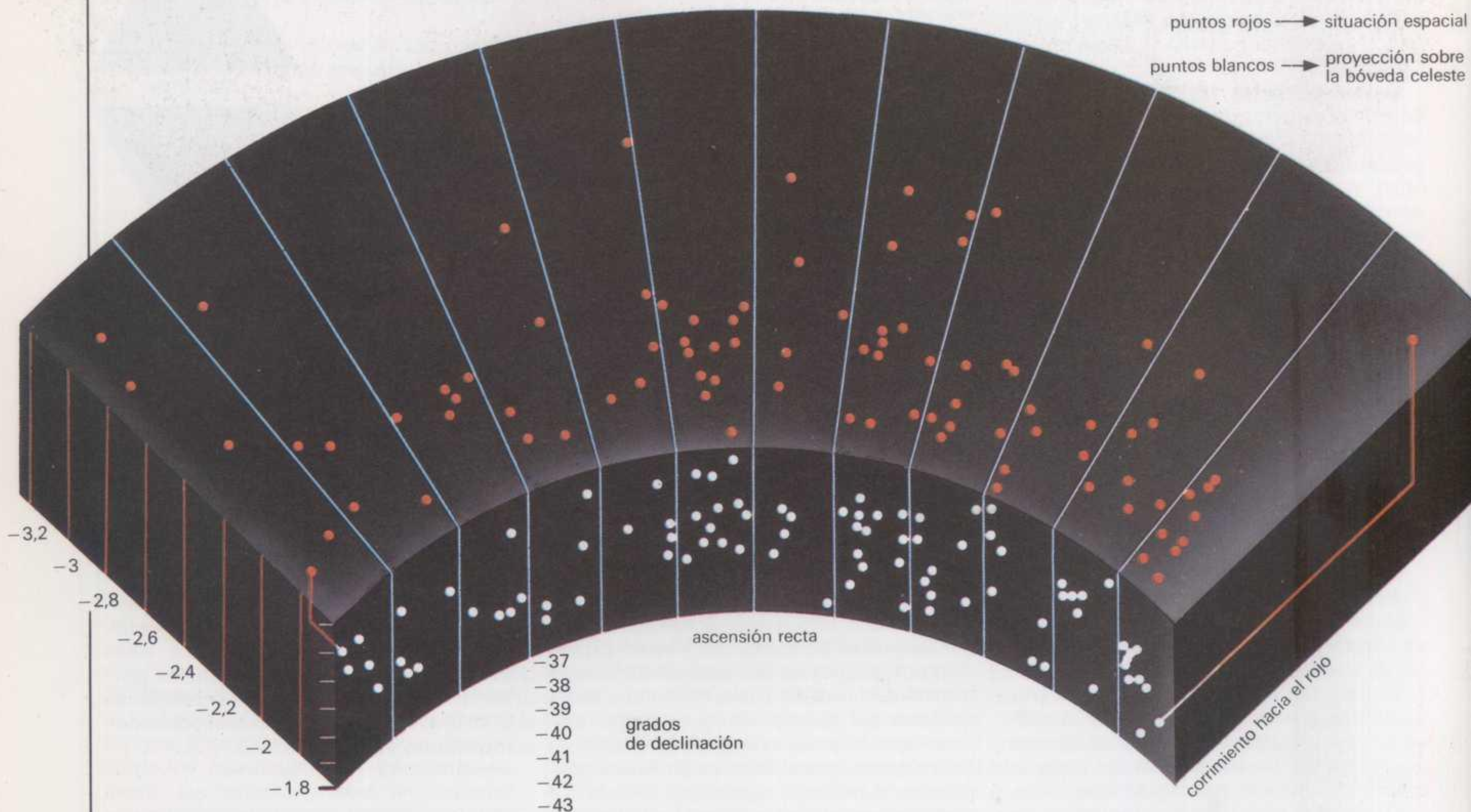
El descubrimiento de los quasares En el transcurso de los años sesenta, cuando los astrónomos dirigieron sus telescopios hacia las fuentes emisoras de radioondas recién descubiertas, observaron unos objetos similares a estrellas y de poca luminosidad.

Estas fuentes emisoras de radioondas, catalogadas con códigos como 3C48, 3C147 y 3C273, fueron denominadas objetos cuasi estelares, QSO o quasares.

Las posteriores investigaciones llevadas a cabo con la finalidad de comprender el origen y el comportamiento de esos cuerpos, se vieron seriamente dificultadas por el hecho de que los espectros de sus radiaciones electromagnéticas resultaban totalmente irreconocibles.

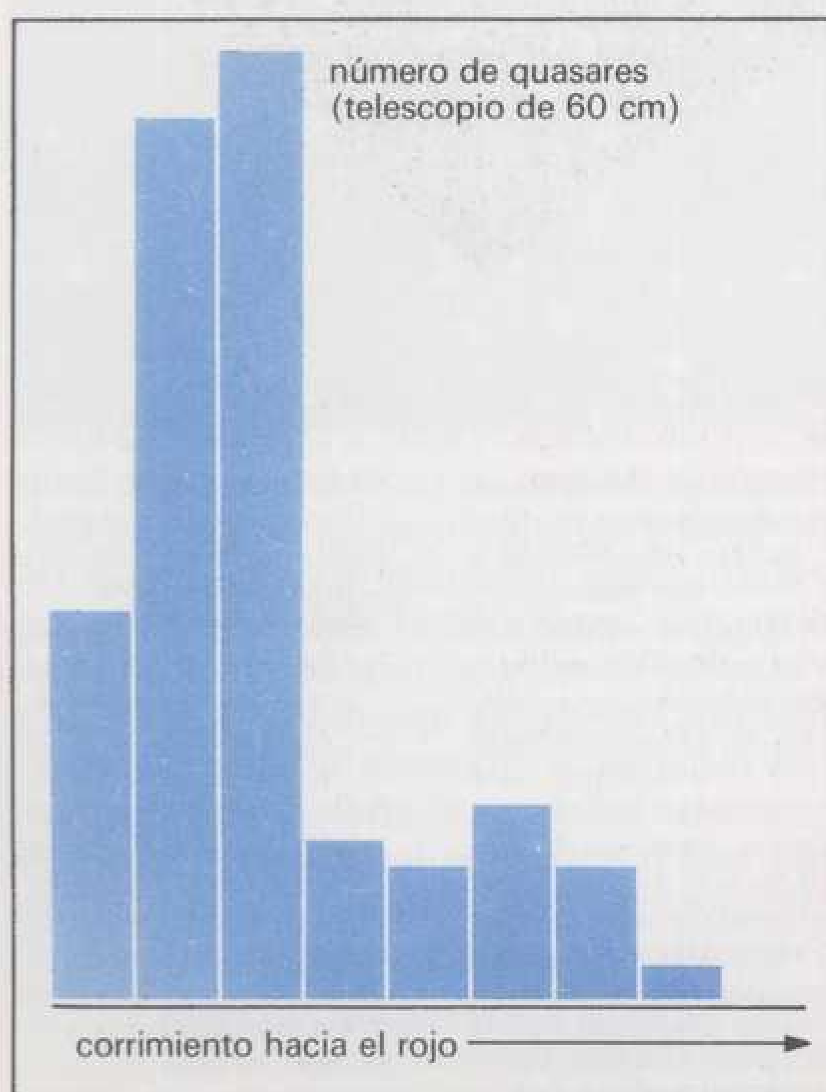
En 1963, el astrónomo holandés Maarten Schmidt llegó a la conclusión de que las líneas espectrales del quasar 3C273, que aparecían en la zona visible del espectro, resultarían identificables si se desplazasen en grupo hacia una región del espectro de mayor frecuencia, más allá del ultravioleta. En consecuencia, dedujo que las líneas espectrales habían experimentado un desplazamiento desde una zona próxima al ultravioleta hasta otra de mayor longitud de onda, en la región visible del espectro. Este fenómeno se conoce como *red shift* o *corrimiento hacia el rojo*.

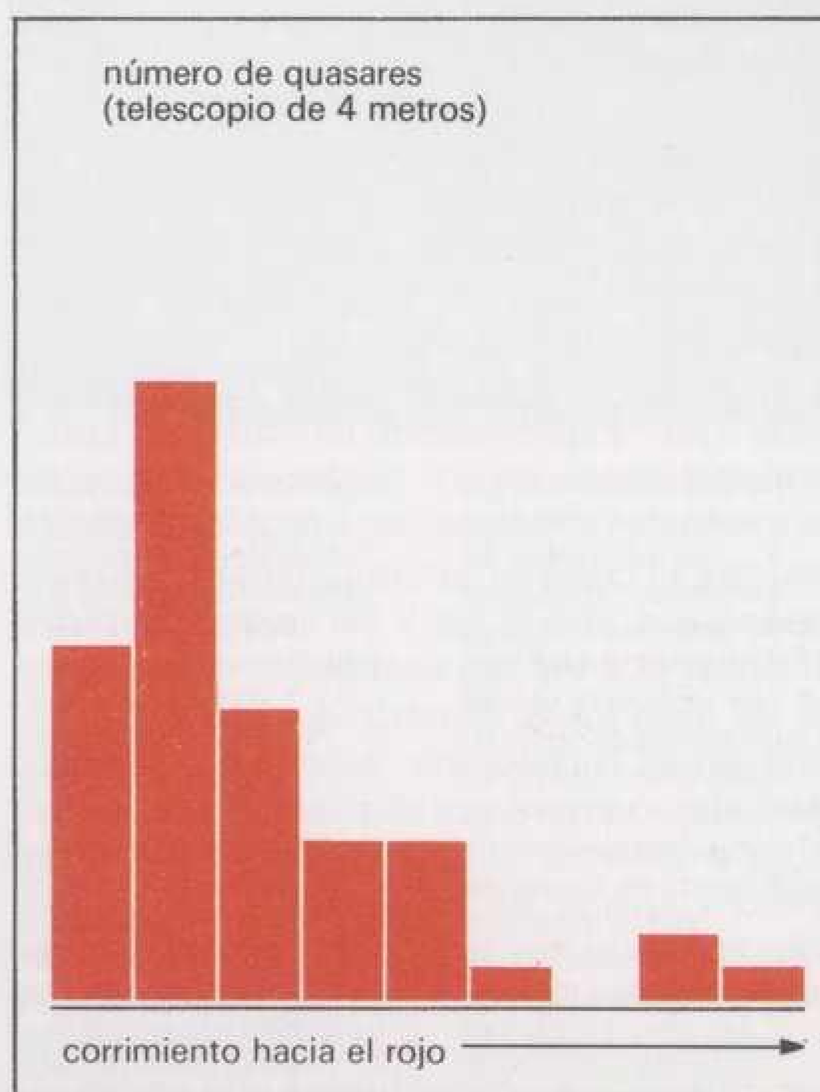
Características de los quasares A partir de la magnitud del desplazamiento que experimentan sus líneas espectrales, se puede calcular la distancia de un quasar y la velocidad con que éste se aleja. Como resultado de estos cálculos se ha llegado a la conclusión de que la mayoría de los quasares se encuentra a una distancia enorme de la Tierra, hasta 12 billones de años-luz, y que esta distancia va haciéndose progresivamente mayor, ya que se alejan de nosotros con velocidades próximas a la de la luz. Cabe, por tanto, pensar que, de acuerdo con la ley de Hubble, los



Los quasares se encuentran a distancias tan grandes de la Tierra que resulta difícil distinguirlos de otras estrellas y, aún hoy, no se ha desarrollado un estudio sistemático que permita establecer su distribución sobre la bóveda celeste, al menos, según los diferentes campos de magnitud estelar en que pueden presentarse. Aunque algunas fotografías pueden inducir a pensar que los quasares tienen una estructura similar a la de los núcleos de algunas galaxias compactas, no ha sido aún posible confirmar que realmente lo sean. Sin embargo, el constante empeño que los astrónomos ponen para vencer estas dificultades se ve reflejado tanto en la acumulación de nuevos conocimientos, como en la evolución y mejora de los métodos de observación instrumental y estadísticos. Las figuras de estas dos páginas han sido realizadas a partir de las informaciones obtenidas por dos instrumentos del observatorio interamericano austral. La identificación de los quasares es el objetivo de una exploración a gran escala, realizada por un telescopio Schmidt, que en una primera toma selecciona aquellos objetos puntuales que pudieran ser quasares. Adaptando un prisma o rejilla al objetivo, se pueden conseguir los espectros de estos cuerpos celestes y, por comparación de éstos con el del hidrógeno, puede determinarse si son quasares y, en ese caso, medir la velocidad con que se alejan de nosotros. Una vez identificados los posibles quasares, se puede pasar a distribuirlos sobre un mapa espacial y comprobar si muestran alguna tendencia a reagruparse en cúmulos, como sucede con las galaxias. Sobre estas líneas, estereograma al que se han transportado las posiciones de los quasares descubiertos con el telescopio Schmidt: muestran un fuerte corrimiento espectral hacia el rojo, lo que permite calcular la distancia a la que se encuentran. El mismo tipo de estereograma, en la página siguiente, sintetiza los resultados de las observaciones llevadas a cabo con el telescopio de cuatro metros, indicando las diferentes áreas del espacio donde se han apreciado agrupamientos no casuales de quasares. Los dos diagramas inferiores muestran la distribución, en función de la distancia, de los quasares identificados por un telescopio pequeño y uno grande. Puede verse cómo, con el segundo instrumento, más potente, la distribución media de los quasares se hace mayor para las grandes distancias.

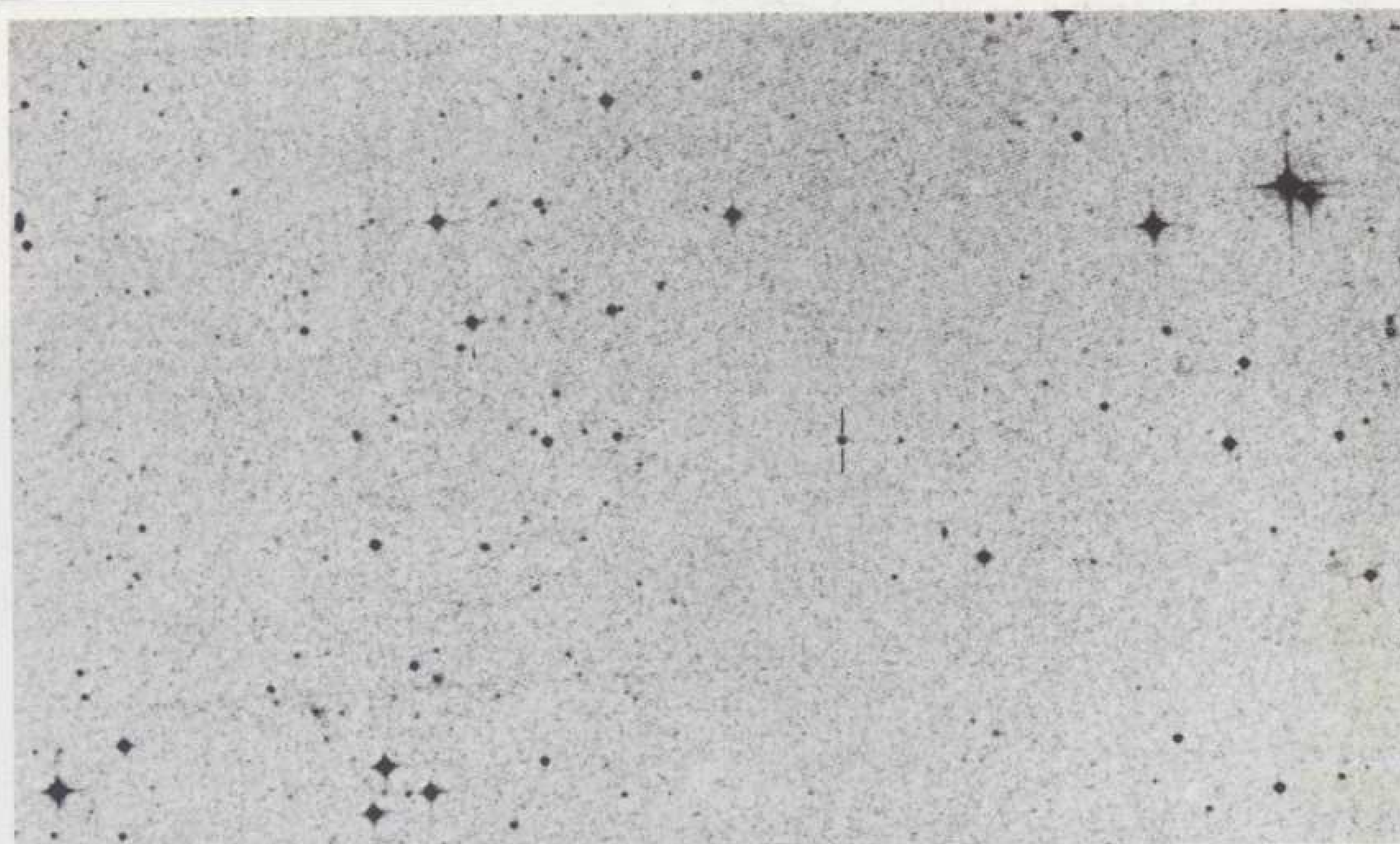
−3,2
−3
−2,8
−2,6
−2,4
−2,2
−2
−1,8
corrimiento hacia el rojo
0
23
ascensión recta
1
22
2
21
−36
−38
−40
−42
−44
grados de declinación

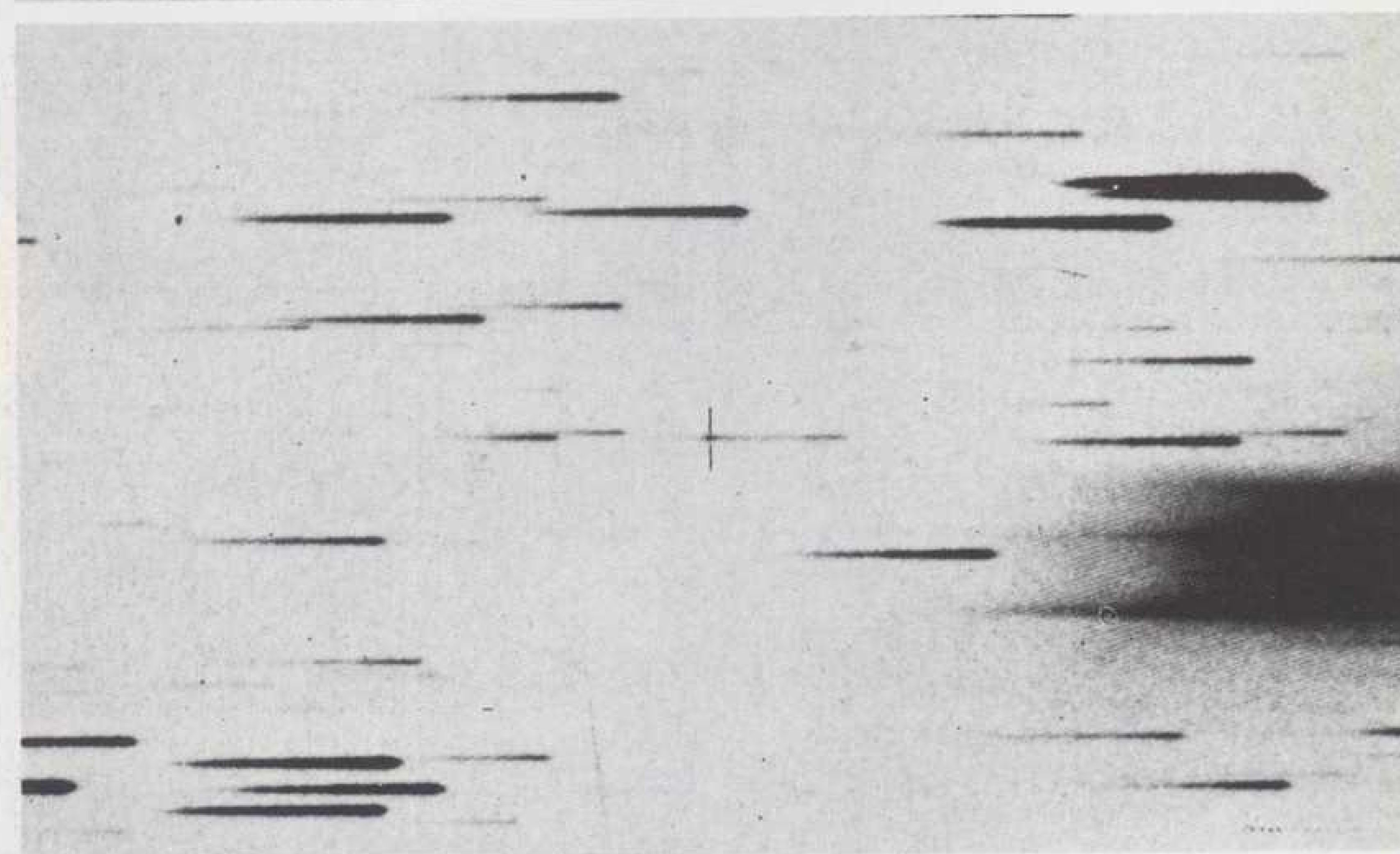




quasares tienen un origen cosmológico basado en la expansión del Universo. Se supone que las dimensiones de los quasares son relativamente pequeñas, con un diámetro medio aproximadamente igual al del Sistema solar. Sin embargo, si esta hipótesis se confirmase, resultaría sorprendente, ya que la luminosidad en cualquier punto de un quasar es desde 10 hasta 100 veces superior a la de una galaxia normal. Los quasares emiten gran cantidad de rayos X, radiación ultravioleta y diversas formas de radiación electromagnética. Hoy por hoy, los astrónomos no disponen de una explicación completa y universalmente aceptada que permita comprender los mecanismos generadores de esas colosales cantidades de energía, aunque se han planteado diferentes hipótesis.

Una de las más aceptadas parte de la hipótesis de que los quasares son cuerpos muy masivos o, incluso, cúmulos estelares, con un peso casi 100 millones de





veces superior al del Sol. Esta pesada formación, dotada de un movimiento de rotación sobre sí misma, sería capaz de generar un intenso campo magnético, a través del cual, electrones libres y altamente energéticos describirían trayectorias espirales, generando una gran cantidad de energía sincrotrónica (recibe este nombre por haber sido detectada por primera vez en un acelerador de partículas llamado sincrotrón); la objeción más inmediata que presenta esta hipótesis se basa en el hecho de que una masa tan enorme como la que se supone sería inestable y, a la larga, las grandes fuerzas gravitatorias que ella misma genera darían lugar a un inevitable colapso gravitacional, que la transformaría en un agujero negro.

Otra hipótesis sitúa un agujero negro en el centro del quasar; el gas procedente de estrellas vecinas en estado de extinción podría entrar en la zona de influencia gravitatoria del agujero negro y ser atraído, comprimido y calentado, dando así lugar a una gran liberación de energía radiante.

Ambos planteamientos se basan en la hipótesis de que los quasares se encuentran a una gran distancia de nosotros. Algunos astrónomos (sólo una minoría) barajan la posibilidad de que los quasares estén mucho más cerca de lo que se supone, estimando, en consecuencia, que su ritmo de producción de energía es normal y similar al de otras estrellas y galaxias.

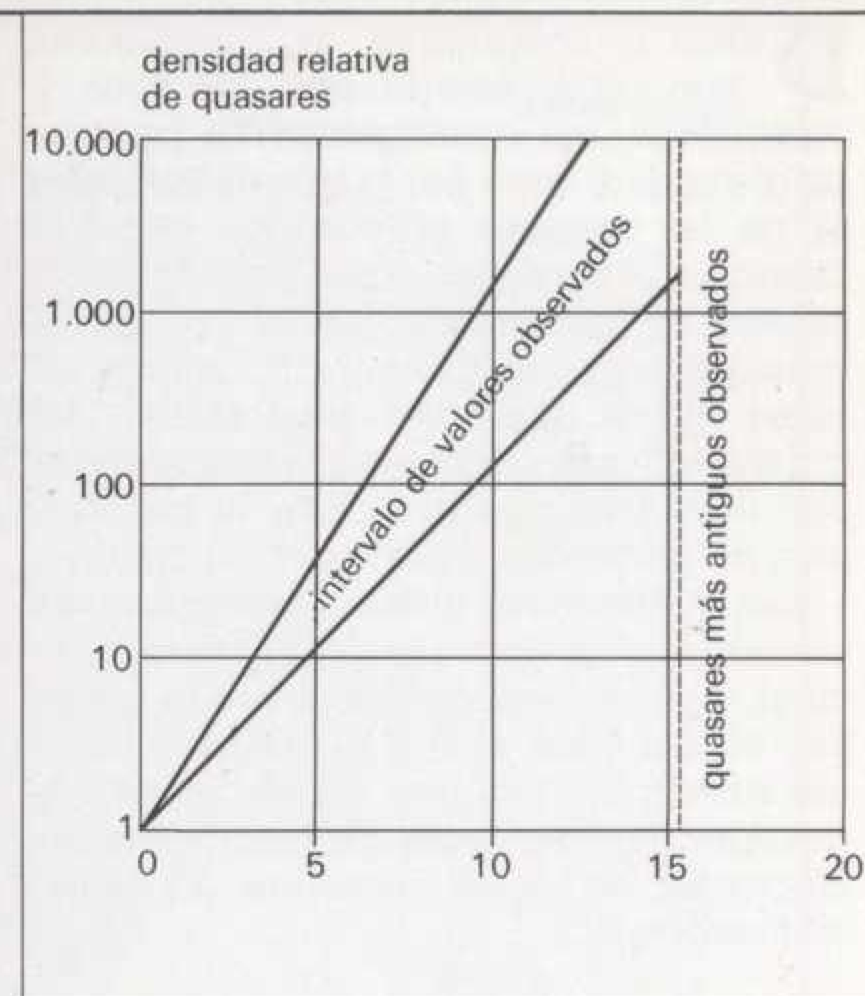
¿Quasar o espejismo? Una antigua hipótesis, que fue propuesta en 1963 y cayó pronto en el olvido, ha sido recuperada recientemente por un grupo minoritario de científicos: según ésta, la gran luminosidad del quasar es resultado de la amplificación que experimenta su imagen como consecuencia de un fenómeno conocido por *efecto lente gravitacional*; este efecto recoge el comportamiento de las radiaciones que, como la luz y las ondas de radio, al pasar por las proximidades de un objeto de gran masa, experimentan una curvatura en su trayectoria debido a la intensidad del campo gravitacional que dicho objeto genera. El astrónomo suizo Fritz Zwicky afirmó, en 1937, que la fuerza gravitacional de un cuerpo, cuya masa sea semejante a la de una galaxia, puede llegar a reducir, agrandar e, incluso, desdoblar las "imágenes" (constituidas por ondas luminosas o sonoras) de objetos lejanos. La confirmación de esta hipótesis tuvo lugar el año 1979, cuando un grupo de investigadores descubrió un quasar cuya imagen, aparentemente, revelaba la presencia de dos cuerpos iguales o gemelos. Un estudio más profundo y detallado de este fenómeno reveló que se trataba de un único cuerpo, cuya imagen experimentaba un curioso fenómeno de desdoblamiento al pasar a través de una galaxia que se interponía entre éste y la Tierra. Tanto este caso de desdoblamiento gravitacional como uno más reciente, en el que se ha demostrado que un sistema triple de quasares era, en realidad, la imagen distorsionada de un solo quasar, han servido de base para que un grupo de científicos sugiera la posibilidad de que la enorme emisión de energía que se atribuye a estos objetos sea, parcialmente y en algunos casos, una ilusión óptica.

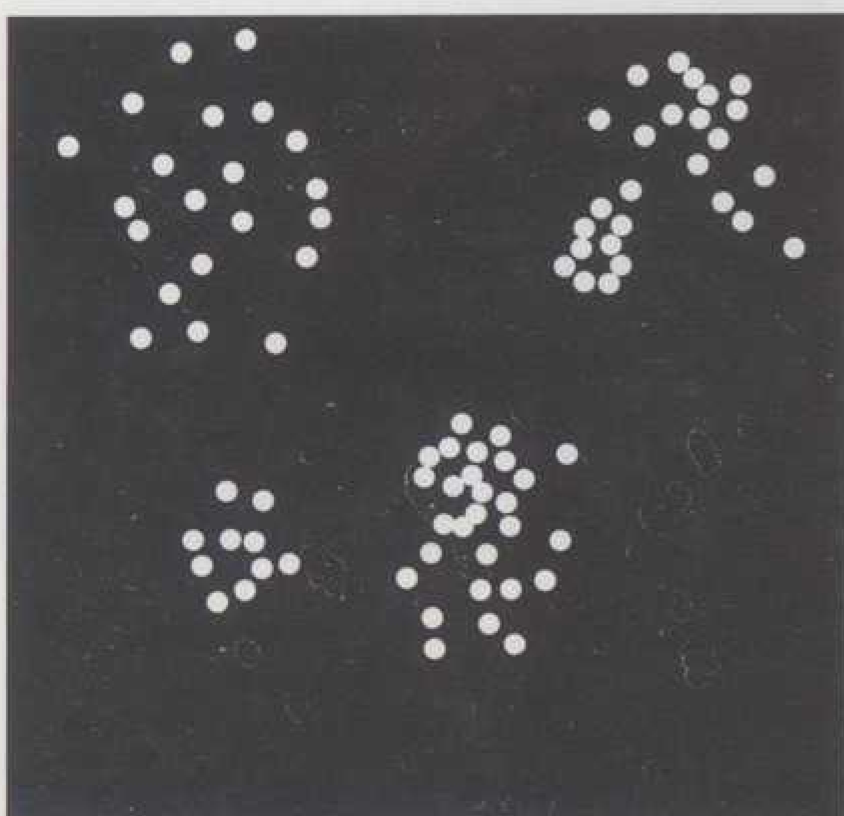
Quasares como galaxias Hoy en día, la hipótesis que goza de mayor número de partidarios dentro de la comunidad científica es aquella que no considera los quasares como una clase especial de cuerpos celestes, sino como los núcleos superluminosos de algunas galaxias.

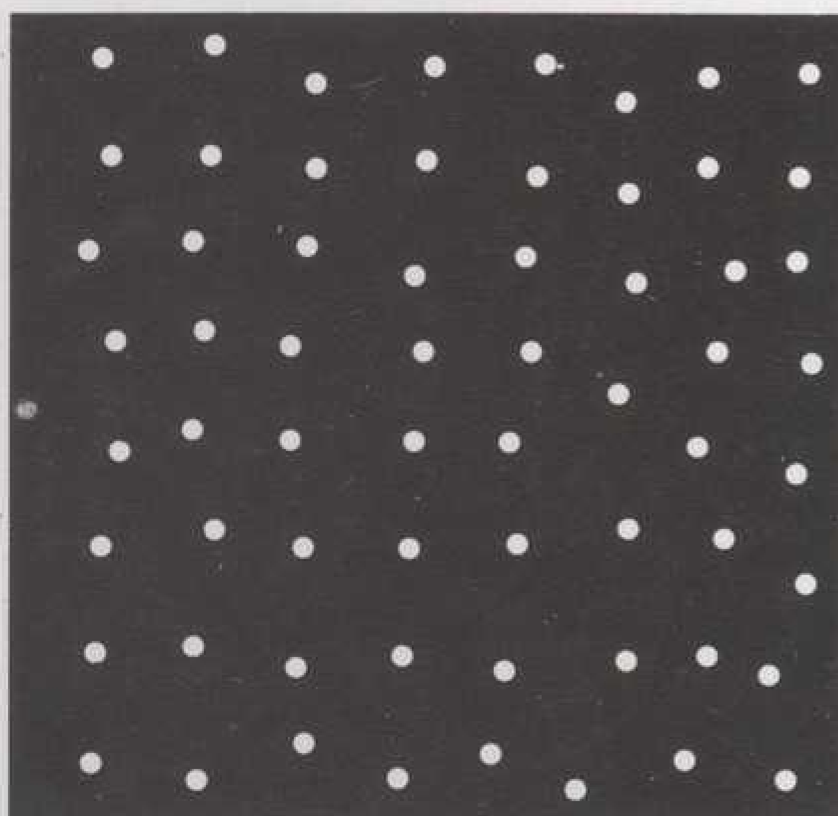
En 1943, Carl Seyfert identificó un tipo de galaxia de forma espiral, con un núcleo pequeño extremadamente luminoso y con características espectrales anómalas. Hoy resulta probable que estas galaxias sean quasares próximos a la Tierra y, por extensión, es posible que los quasares que hoy conocemos sean los núcleos visibles de galaxias Seyfert muy lejanas. En 1981, algunos investigadores demostraron que diversos quasares, el 3C48, el 3C237 y otros, estaban, en efecto, insertos en el interior de formaciones galácticas, de las que, probablemente, eran sus núcleos. Este descubrimiento, aunque muy importante, no permite explicar los mecanismos que se desarrollan en el interior de los quasares y de las galaxias Seyfert, y que son responsables de una producción tan colosal de energía. Se especula también con la hipótesis de que los quasares sean galaxias en fases iniciales de su desarrollo. Maarteen Schmidt, el primer astrónomo que descifró la distribución de energía en los espectros de los quasares, ha descubierto, a partir del corrimiento hacia el rojo de los quasares conocidos, que la gran mayoría de ellos se formó hace 15 billones de años, es decir, 5 billones de años después de que se produjese el *Big Bang* (la gran explosión que dio origen al Universo). Estos primeros quasares (que tenían una luminosidad equivalente a mil veces la de una galaxia normal) ya estarían prácticamente apagados, aunque aún hoy sigamos recibiendo la luz que emitieron hace billones de años. Es muy probable que muchas de las galaxias que hoy conocemos representen estados muy avanzados de *post quasares*.

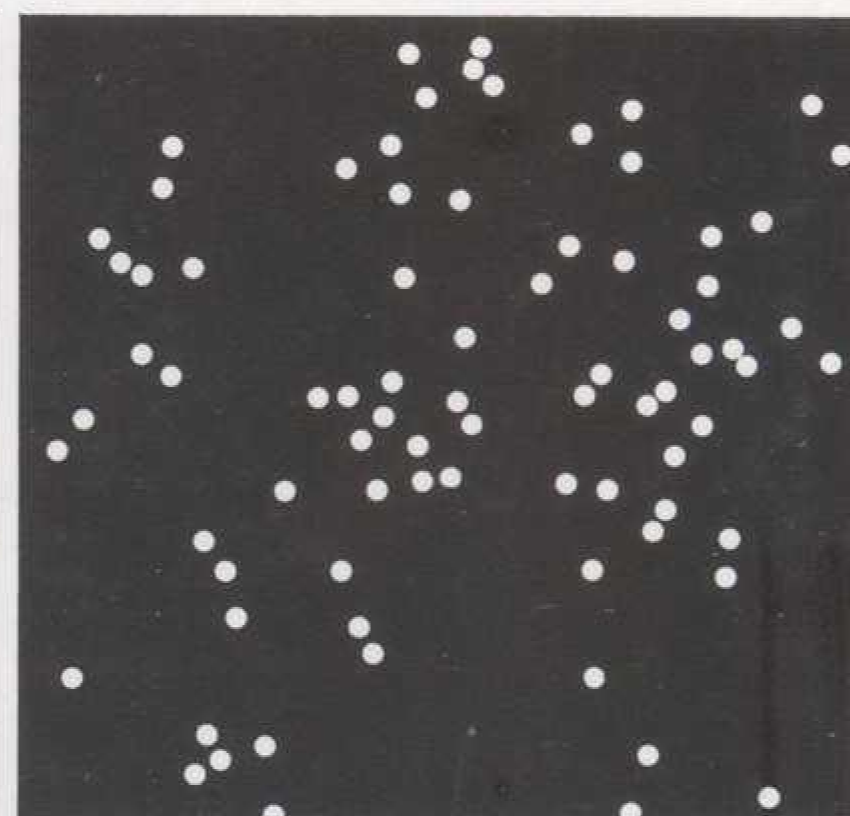
Véase **Agujero negro; Cosmología; Efecto Doppler; Galaxia; Universo, expansión del; Universo, origen del**

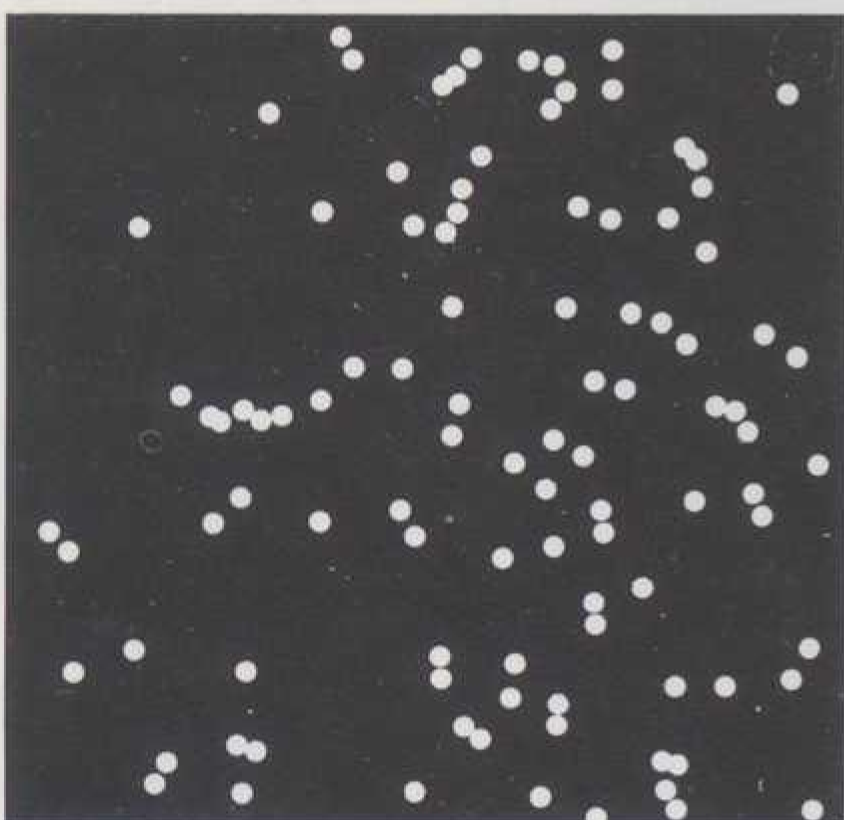


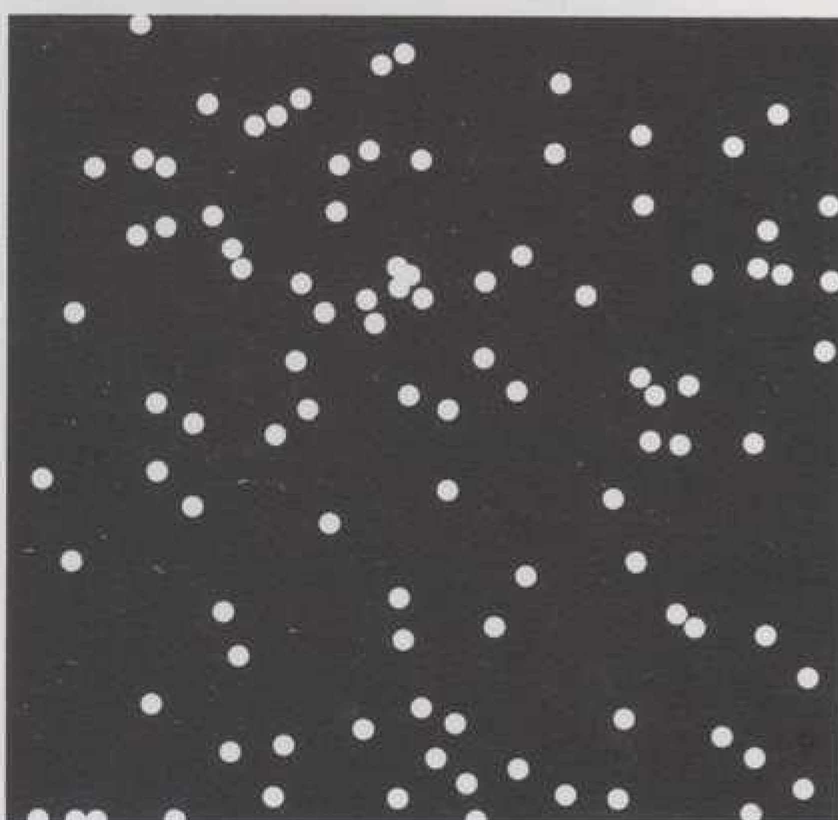


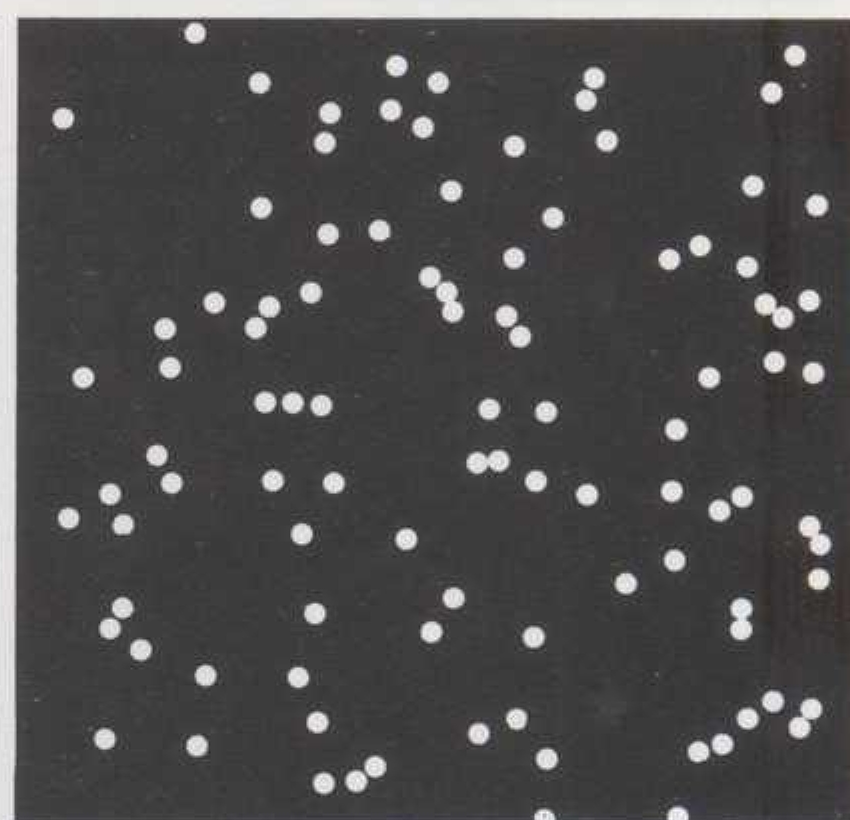












En la página anterior, arriba, se muestran dos imágenes tomadas con el mismo telescopio, aunque en la segunda toma se ha adaptado al objetivo un prisma de pequeño ángulo de refracción. En la fotografía superior, las dos pequeñas líneas señalan la posición de un quasar, y en la inferior, la imagen de éste, es decir, la luz que procede de él se descompone mostrando su forma espectral; a la izquierda de ésta resalta la línea correspondiente a la transición orbital Lyman-alfa del hidrógeno (el fuerte corrimiento hacia el rojo es responsable del desplazamiento de esta línea desde el ultravioleta hasta la zona fotográfica-visible del espectro). En esta página, y en la parte superior, se muestra un cúmulo de galaxias, en el Hemisferio sur, muy similar a los de la Cabellera de Berenice, en el Hemisferio norte. Los astrónomos se preguntan si también los quasares muestran cierta tendencia a reagruparse en cúmulos. Para hallar una respuesta a esta pregunta, sería necesario realizar un estudio estadístico muy completo sobre su distribución, es decir, observarlos, clasificarlos y señalarlos en mapas. Hecho esto, cabe determinar si muestran alguna tendencia natural a agruparse. En efecto, en las imágenes superiores puede observarse en A) una fuerte tendencia a formar cúmulos, en B) una tendencia nula, en D) y E) una débil tendencia a reagruparse en algunas zonas y a separarse en otras. Sin embargo, estas tendencias no pueden apreciarse a simple vista. Así, en C) y F) las distribuciones son perfectamente uniformes y casuales, aunque la vista nos señale, erróneamente, la presencia de cúmulos o zonas de posible reagrupamiento. El diagrama superior muestra la densidad de quasares por unidad de superficie de la bóveda celeste en función de su distancia, que viene expresada como tiempo que ha tardado el mensaje luminoso del astro en llegar a nosotros. Al igual que no se observan quasares demasiado recientes, tampoco se observan quasares de origen excesivamente lejano en el tiempo, es decir, que se hayan formado durante los primeros cinco billones de años después del *Big Bang*. Esto significa que, muy probablemente, los quasares son todos de formación más reciente, y resultado de transformaciones de cuerpos celestes más viejos, como galaxias.

Quemaduras

Desde la antigüedad las quemaduras han representado para médicos y curanderos una contingencia de particular gravedad, tanto por la misma naturaleza de las lesiones provocadas, con frecuencia irreversibles, como por la participación de distintos sistemas orgánicos, principalmente el sistema circulatorio, así como por la debilidad generalizada del organismo que, unida a la presencia de tejido necrótico, puede facilitar la penetración de gérmenes y provocar infecciones.

Las quemaduras pueden tener distintas causas, y si en otro tiempo la causa principal, y prácticamente única, era el fuego, hoy en día otras causas pueden ser algunas sustancias químicas, como ciertos ácidos fuertemente cáusticos, las descargas eléctricas, las dosis excesivas de radiación, etcétera.

Definición y clasificación de las quemaduras Las quemaduras se pueden definir, según venimos viendo, como lesiones de los tejidos inducidas por agentes térmicos, químicos, eléctricos o radiactivos. El mecanismo común a todas las formas de quemaduras es la desnaturalización de las proteínas celulares, con el consiguiente daño tisular, que puede llegar incluso a la necrosis.

Naturalmente, y dado que los agentes citados actúan sobre el cuerpo humano desde el exterior, es el aparato tegumentario de revestimiento —piel y mucosas— el que sufre los efectos inmediatos de las quemaduras. Pero en el caso de quemaduras graves y extendidas a una gran parte de la superficie corporal, los efectos sistémicos, es decir, diseminados a los distintos sistemas orgánicos —aparato circulatorio y respiratorio principalmente— constituyen para la víctima un peligro netamente superior al que representan las lesiones locales, pudiendo poner en riesgo incluso la vida del afectado.

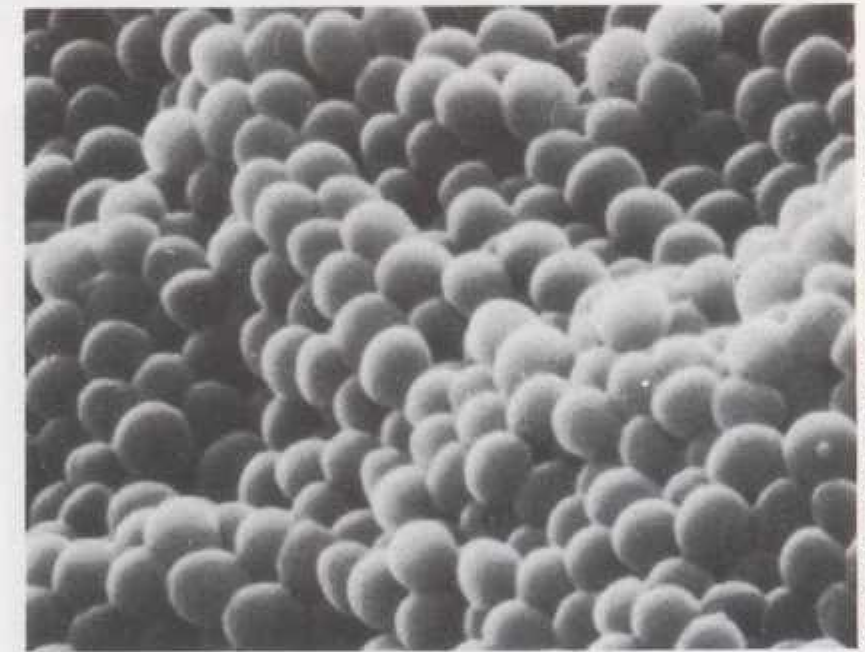
Tradicionalmente se distinguen tres grados de quemaduras, en gravedad creciente:

- *Quemaduras de primer grado* o *eritematosas*: son las quemaduras superficiales, como las clásicas escaldaduras por el calor, que se producen por exposición a la radiación solar. Predomina una intensa reacción de la circulación sanguínea superficial con enrojecimiento de la piel. Normalmente, las lesiones, aunque sean extensas, desaparecen en el transcurso de algunos días con total reconstrucción espontánea de los tejidos dañados.
- *Quemaduras de segundo grado* o *vesiculosas*: a la reacción inflamatoria muy intensa acompaña la formación de vesículas que contienen un exudado seroso, llamadas *flictenas*. Si no se producen complicaciones de tipo supurativo, también en este caso tiene lugar la reconstrucción total de los tejidos dañados. Sin embargo, si las lesiones son extensas y se produce una notable pérdida de plasma como consecuencia del intenso edema cutáneo, se puede alcanzar un estado próximo al *shock*. En estos casos es muy importante el estado de salud del sujeto previo a que ocurriera la quemadura.
- *Quemaduras de tercer grado* o *escaróticas*: se trata de las quemaduras más graves, dado que se verifica una necrosis más o menos profunda de la piel. Se pueden distinguir lesiones en todo el espesor de la dermis. Si bien en este último caso se puede producir una regeneración de los tejidos, la formación de cicatrices, a menudo muy antiestéticas, es inevitable. Cuando la quemadura afecta a todas las capas de la piel, la capacidad regenerativa del epitelio se pierde por completo.

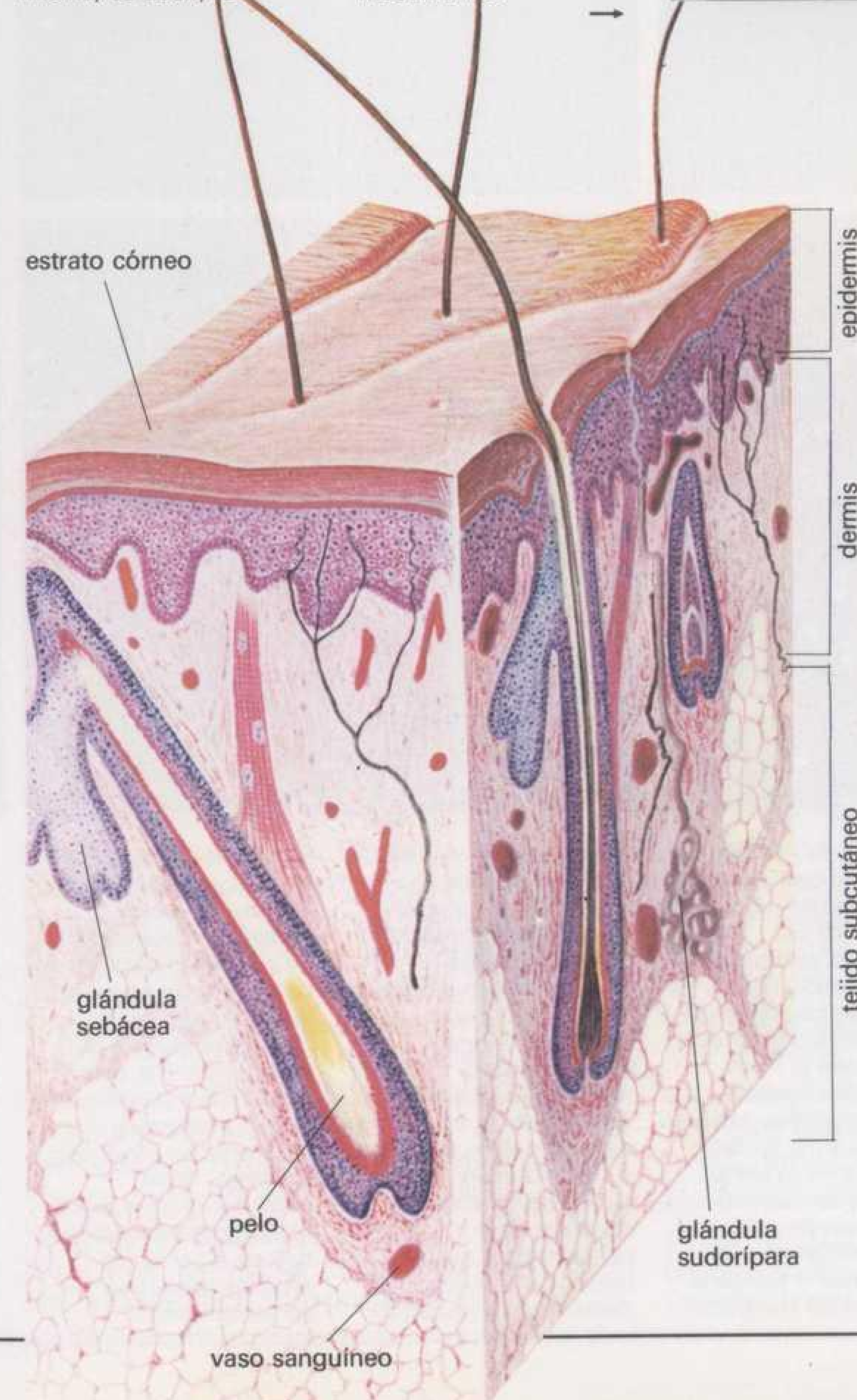
Existe, además, un estadio ulterior con lesiones que profundizan más allá de la dermis: es lo que se denomina *carbonización*.

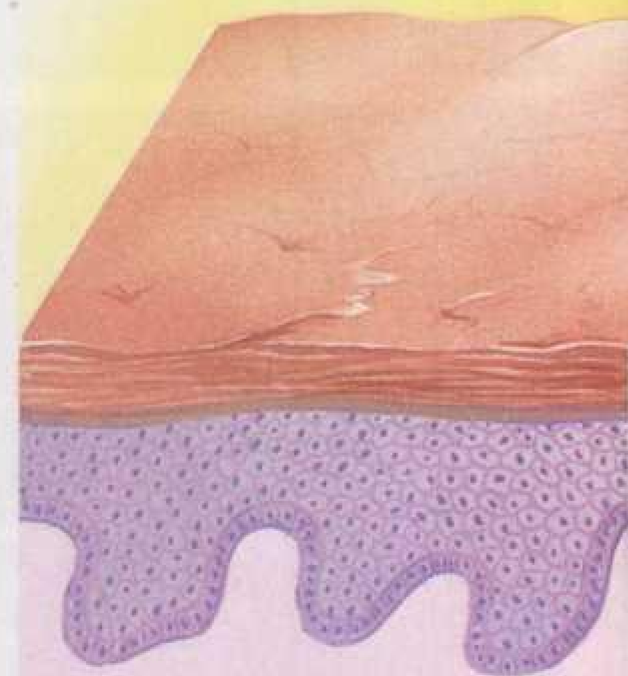
La enfermedad del quemado En el diagnóstico de un quemado, la mayor atención debe dedicarse a la extensión más que a la profundidad de las quemaduras. Si las lesiones cubren una buena parte de las superficie corporal, se origina un estado patológico, llamado precisamente *enfermedad del quemado*, cuyas consecuencias también pueden ser fatales por compromiso del aparato circulatorio, a consecuencia del estado de *shock*, y por complicaciones renales, como consecuencia de la difusión en la circulación de productos tóxicos originados en la necrosis de los tejidos.

El tratamiento de las quemaduras Dado que el fenómeno más importante que se verifica en caso de quemaduras es la formación de un edema en la zona afecta, el principal problema es el de la reintegración del volumen de sangre circulante, con particular atención al restablecimiento de los valores correctos del equilibrio hidroelectrolítico, es decir, de las cantidades adecuadas de agua, proteínas, iones sodio y potasio que el paciente


Cambridge Scientific Instruments Limited

En la parte inferior, reconstrucción tridimensional de un fragmento de piel en el que pueden apreciarse los tres estratos fundamentales de la misma, es decir, la epidermis, la dermis y el tejido subcutáneo. La piel constituye una óptima barrera mecánica de carácter defensivo, capaz de poner en marcha mecanismos →





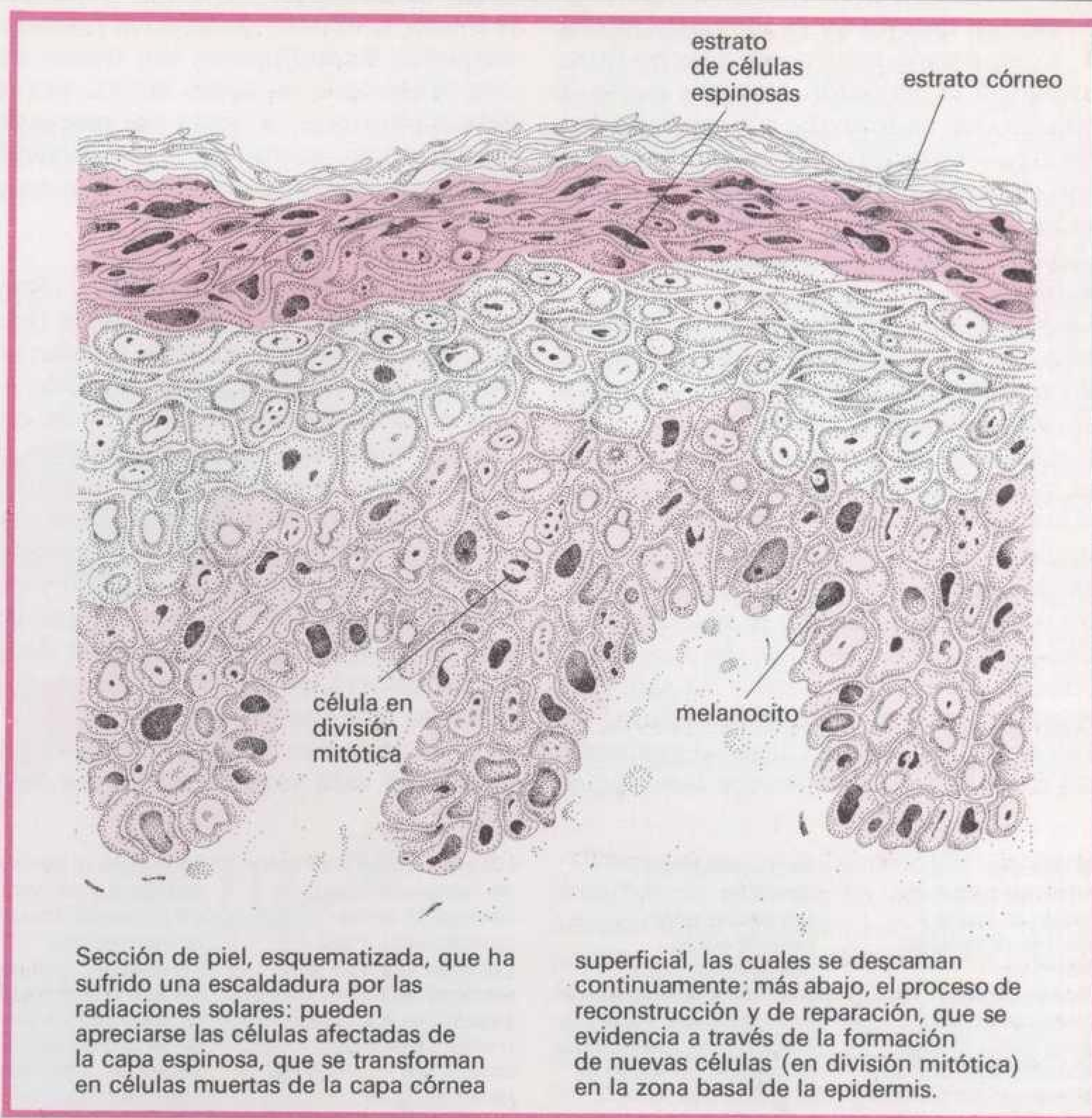
QUEMADURA DE PRIMER GRADO O ERITEMATOSA

Está caracterizada por eritema, es decir, un enrojecimiento doloroso de la piel. La aplicación de compresas de agua muy fría y de pomadas antisépticas puede aliviar el dolor. Las lesiones desaparecen normalmente en el transcurso de algunos días sin compromiso de los tejidos.

debe poseer. A estos fines, que como es lógico sólo conciernen a las quemaduras graves, se dirigen todas las prácticas terapéuticas. Además, hay que aliviar el dolor, casi siempre violento, que, en distintos grados, está presente en todas las formas de quemadura, desde las más ligeras a las más graves. Simultáneamente, se debe llevar a cabo una adecuada limpieza de las áreas quemadas para la retirada de los tejidos necróticos y la aplicación de una necesaria terapéutica antibiótica. A este respecto es preciso mencionar que pueden surgir infecciones por acción de los bacilos gramnegativos. La prevención de estas infecciones puede realizarse mediante una adecuada terapia antibiótica y también mediante tratamiento con vacunas con fin inmunoprofiláctico. En los casos de quemaduras muy graves con daño irreparable se puede proceder a la reparación mediante trasplantes de piel tomada del mismo paciente en zonas sanas que regeneran la propia epidermis en el transcurso de unos veinte días.

Actualmente se estudian preparados sintéticos que, en un futuro no lejano, sustituirán la piel verdadera. Se trata de películas elásticas que podrán ser depositadas sobre la zona que se va a reparar mediante un *spray* común.

Véase **Cirugía plástica; Piel; Primeros auxilios**



Sección de piel, esquematizada, que ha sufrido una escaldadura por las radiaciones solares: pueden apreciarse las células afectadas de la capa espinosa, que se transforman en células muertas de la capa córnea superficial, las cuales se descaman continuamente; más abajo, el proceso de reconstrucción y de reparación, que se evidencia a través de la formación de nuevas células (en división mitótica) en la zona basal de la epidermis.

de descontaminación que limpian la superficie expuesta al exterior; por otra parte, la piel hospeda una fibra bacteriana "residente" escasamente patógena (como los estafilococos, que se representan vistos al microscopio) que inhibe la colonización por otras cepas bacterianas.

Las grandes quemaduras son, de hecho, un aspecto de la patología en continuo aumento en las sociedades tecnológicamente avanzadas: en las grandes quemaduras con frecuencia los éxitos del tratamiento no son demasiado buenos y los problemas estéticos y funcionales constituyen un serio inconveniente para el paciente. El tratamiento debe tender a aliviar el dolor, a prevenir y tratar el estadio de *shock*, a reparar las zonas quemadas, y sobre todo a reducir el peligro de infección y garantizar una suficiente introducción de líquidos para restablecer el equilibrio hídrico del organismo y diluir las sustancias tóxicas acumuladas en él.



QUEMADURA DE SEGUNDO GRADO O VESICULOSA

Está caracterizada por una reacción inflamatoria muy intensa, que se acompaña de la formación de vesículas que contienen un exudado seroso o con trazas de sangre, y que afecta al estrato más superficial de la dermis. Requiere lavados fríos con gasas estériles, aplicación de soluciones de bicarbonato sódico y de pomadas antisépticas. El pronóstico depende de la extensión de las lesiones y de los eventuales fenómenos infecciosos que pueden empeorar la situación.

QUEMADURA DE TERCER GRADO O ESCAROTICA

Está caracterizada por necrosis, es decir, destrucción del tejido hasta los estratos más profundos de la dermis. Si la lesión no es de una extensión muy reducida, es indispensable el ingreso en un hospital, dado que las manifestaciones generales que acompañan a la quemadura pueden incluso llegar al estado de *shock*, con liberación de peligrosas toxinas. Las cicatrices que resultan de estas quemaduras pueden resultar ser muy antiestéticas.

CARBONIZACION

Es el tipo de quemadura más grave, en el que se produce la destrucción total de la piel, del tejido subcutáneo y de otros. La parte quemada resulta completamente destruida.

Quesera, industria

El origen del queso es muy antiguo. La coagulación natural de la leche pronto reclamó la atención humana hacia el producto que se formaba y maduraba con el tiempo. Posteriormente se encontró el modo de provocar la coagulación de manera artificial mediante el empleo del *cuajo*, líquido extraído del cuajar de los rumiantes.

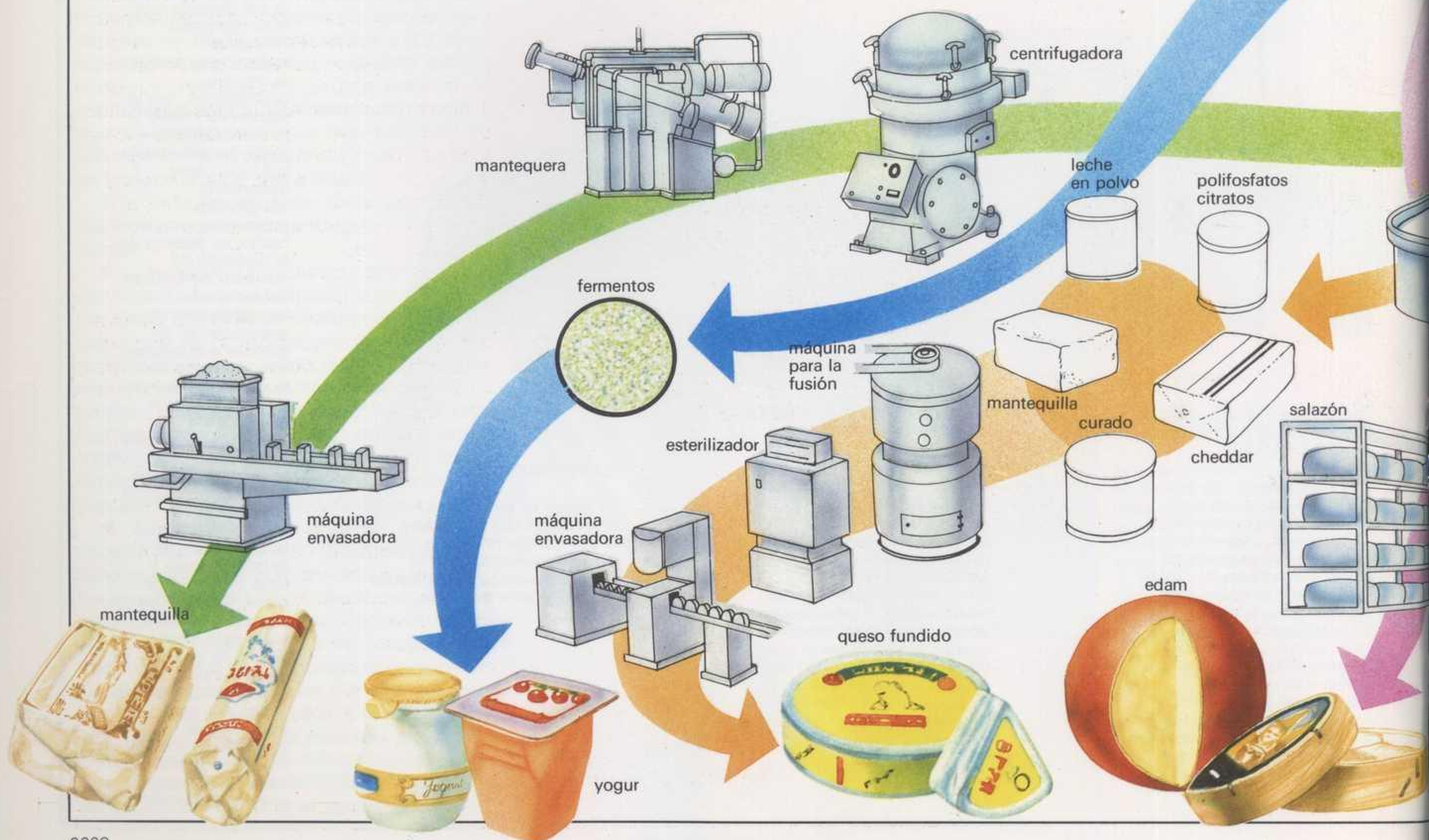
La leche está compuesta, aproximadamente, de un 12% de sustancia seca, y el resto es agua. La concentración de la materia seca, que se produce en primer lugar mediante el fenómeno de coagulación, natural o artificial, da origen al queso. Cuando se produce la coagulación de la leche, la parte sólida precipita y se separa del *suero*, líquido claro amarilloverdoso y de sabor agrio. En el suero permanecen la lactosa, residuos de sustancias proteicas y trazas de grasa y de sales minerales, que precipitan a temperaturas superiores a 70 °C, dando lugar al *requesón*. Parte de la lactosa permanece también en la fracción sólida y origina los primeros fenómenos fermentativos del queso fresco, convirtiéndose en ácido láctico por la acción bacteriana. La grasa del suero puede recuperarse mediante centrifugación y utilizarse para la fabricación de mantequilla de suero.

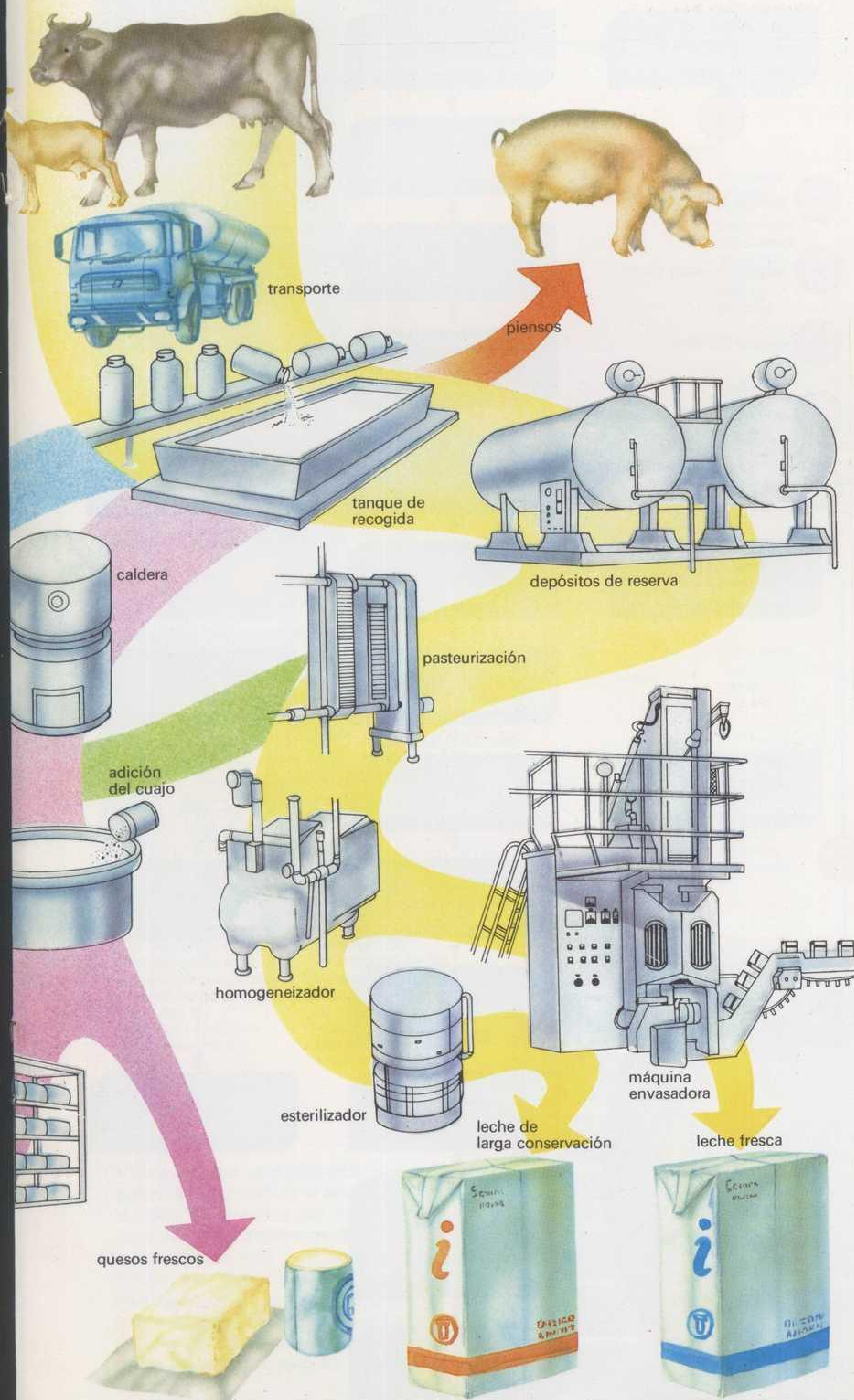
Procesos de elaboración Aunque exista una gran variedad de tipos de queso (se calcula que existen al menos 400 variedades distintas), la fabricación de todos ellos se basa en una serie de operaciones comunes: calentamiento de la leche, injerto con fermentos, adición del cuajo para la coagulación, trituración del coágulo, cocido, recogida y compresión del producto, enjuagado, salazón y maduración. La diferencia entre los distintos tipos de queso depende, además de la diversa manera de operar, de las características de la leche de origen.

Uno de los principales factores condicionantes está representado por la elección de los fermentos que han de añadirse a la leche. Se trata de cultivos de microorganismos seleccionados, que son preparados por laboratorios especializados. El aspecto y sabor de algunos quesos se deben precisamente a la acción especial de ciertos fermentos: un caso típico es el del *emmenthal*, en el que la formación de los agujeros y su gusto y aroma particulares son debidos a las bacterias propiónicas que, favorecidas por las condiciones biológicas creadas por la acción de los estreptococos de la leche, se multiplican rápidamente durante la fase de maduración.

La fase más importante de la fabricación del queso es la coagulación. La leche, una vez depositada en las artesas o calderas de elaboración, después de calentada y del injerto de los fermentos, se coagula mediante dos enzimas dotados de propiedades coagulantes: la *zimasa* y la *pepsina*. El tiempo de la coagulación depende de la cantidad de cuajo, de la

En el dibujo, tratamiento a que es sometida la leche y productos obtenidos. La leche es transportada en grandes camiones cisterna hasta el lugar de elaboración, donde se le aplica una serie de tratamientos térmicos (pasteurización, esterilización, uperización) que garantizan su pureza y conservación. La leche en polvo se obtiene por ebullición en vacío de la leche. Por concentración en vacío de leche azucarada se obtiene la leche condensada. Para elaborar el yogur se siembra de fermentos especiales. La crema o nata se obtiene separando la parte grasa de la leche. Mediante el batido enérgico y prolongado de la crema, se obtiene la mantequilla. Finalmente, el queso, en sus variedades, es elaborado a partir de la leche cuajada y sometida a diversos tratamientos.





temperatura y de la acidez. Las mejores condiciones de temperatura para la acción del cuajo se verifican a unos 41 °C; por encima de este límite, se produce la inactivación de los enzimas. Del mismo modo, un pH de 6,25 acelera el tiempo de coagulación, mientras que un pH de 6,95, más próximo al punto neutro, la retarda.

Como resultado de la coagulación se obtiene la *caseína*, o sea, la proteína característica de la leche, cuya conversión en queso es proporcional a su riqueza en caseína. Esta se transforma en gel y se deshidrata por contracción de las partículas que la componen (sinéresis), liberando el suero.

Los enzimas continúan después su acción sobre las proteínas del queso durante el proceso de maduración, que, según las clases de queso, dura semanas e incluso meses.

La salazón, o tratamiento con sal, asegura la conservación del queso y mejora su sabor.

Tecnología La tecnología aplicada a la industria quesera ha alcanzado en los últimos años notables progresos con respecto a la mecanización y al automatismo. Así, para los tipos de queso que permiten una estandarización de los procesos de elaboración se dispone de instalaciones de proceso continuo que efectúan mecánicamente todas las operaciones de tratamiento del producto.

En las modernas queserías, la coagulación de la leche se realiza en grandes tinas de acero inoxidable de 3.000 a 6.000 litros de capacidad, de forma rectangular, con los extremos redondeados y con doble fondo. Sobre dichas tinas está colocado un carro móvil dotado de brazos verticales provistos de estructuras especiales en forma de peine, que se emplean para romper la cuajada. La masa se recoge en lienzos especiales, y, tras colar a continuación el líquido restante, se pasa la pasta a un molde, generalmente cilíndrico, hecho con tiras de madera donde se la somete a un prensado que la deja más compacta y desprovista de líquido.

Las grandes fábricas de queso cuentan con laboratorios químicos y bacteriológicos, instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción, maquinaria modernísima, etc. Sus instalaciones están provistas de todo lo necesario para efectuar con la mayor eficacia la elaboración de la leche y el aprovechamiento de sus subproductos. Existen, además, máquinas especiales para preparar la leche esterilizada, la leche condensada y la leche en polvo; maquinaria automática para embotellar, cerrar y empaquetar; extractores de la crema, etcétera.

Los productos principales de la industria quesera son: los quesos grasos, los semigrasos, los magros y la mantequilla. Los subproductos más importantes son: la natilla, el requesón, la caseína y el suero.

Véase **Mantequilla; Queso**

Queso

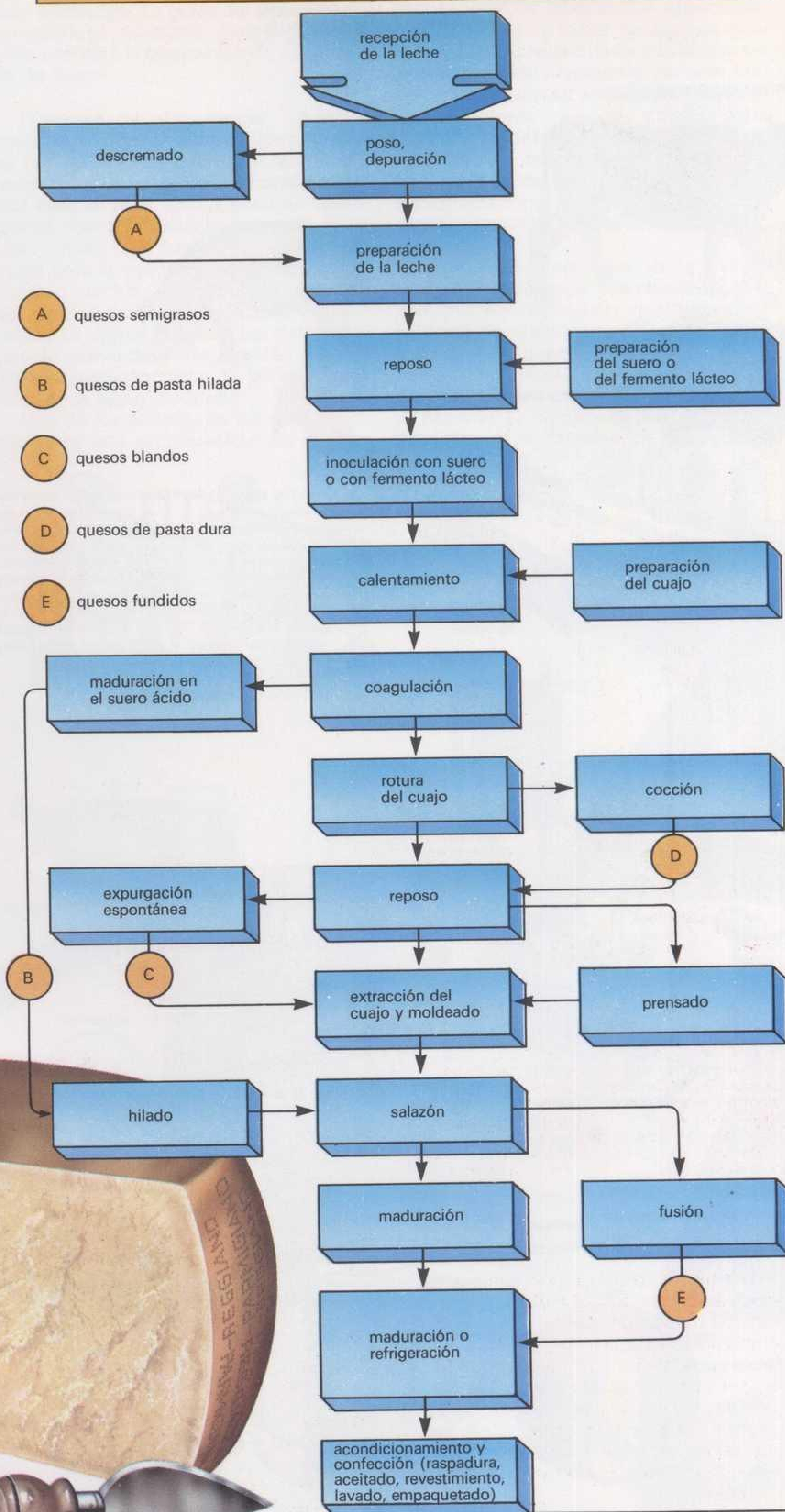
Según la leyenda, el queso fue descubierto accidentalmente hace miles de años por un mercader árabe, quien observó que parte de la leche que había conservado para un viaje se había coagulado, liberando suero: se había cuajado.

Actualmente, las modernas técnicas queseras determinan y controlan el cuajado de la leche, que se consigue de forma artificial añadiendo ácido láctico y/o cuajo a la leche.

La importancia de las bacterias El ingrediente más importante en la fabricación del queso lo constituyen ciertos microorganismos que crecen de forma espontánea en la leche, cuando se produce artesanalmente, y que se añaden artificialmente, cuando se trata de producción industrial. Las inoculaciones de bacterias en la leche inducen la fermentación, durante la cual la actividad enzimática de las bacterias transforma el azúcar de la leche (lactosa) en ácido láctico, provocando su coagulación. Los microorganismos más comúnmente inoculados son el *Streptococcus lactis*, el *Streptococcus cremoris* y el *Streptococcus thermophilus*.

Una vez que las inoculaciones y el cuajo han provocado la coagulación de la leche, entran en acción otras capas de bacterias (esta fase, llamada *maduración*, dura varios años) que determinan el tipo de queso fabricado.

Los quesos duros, por ejemplo, se hacen con estreptococos, lactobacilos y micrococos. Estas bacterias operan con los enzimas de la leche, reduciendo las proteínas a aminoácidos y péptidos, y produciendo el dióxido de carbono que da lugar a los típicos "agujeros" del gruyère o del emmenthal. En estas variedades la medida y la disposición de los agujeros son un índice de la calidad. Los quesos duros son madurados por la acción de las bacterias en el interior del queso y no sobre la superficie. Algunos son sometidos a cocción (roncal, cabrales, parmesano), y otros no (manchego, mahón, cantal).



CLASIFICACION TECNOLOGICA DE LOS QUESOS			
Tipos de quesos	**Producción con leche**	**Maduración**	**Nombre**
de pasta fresca	pasteurizada	ninguna	petit suisse fioroni gervais cottage de cabra semisalado
de pasta blanda	pasteurizada o cruda	7-60 días	crescenza taleggio itálico gorgonzola camembert roquefort tomino robiole caciotta
de pasta prensada	pasteurizada (cruda sólo para fontina)	1-2 meses	fontina fontal edam gouda joint paulin fynbo samsoe
de pasta hilada	cruda o pasteurizada	0-15 días	mozzarella flor de leche silanetto
de pasta dura	cruda o pasteurizada, según los tipos	1-3 meses	provolone queso de caballo ragusano pròvola
		3-24 meses	parmesano asiago emental gruyère de oveja encestado

A la izquierda, el ciclo de elaboración para la producción de diversos tipos de quesos: cubre casi todas las calidades conocidas. Sobre estas líneas, una tabla de clasificación tecnológica de los quesos, que recoge también los tiempos de elaboración y maduración, a la derecha, composición y valor energético.

COMPOSICION Y VALOR CALORICO DE ALGUNOS QUESOS (por 100 g)						
tipo de queso	agua %	proteínas %	grasas %	calcio mg	fósforo mg	kcal
bel paese	45	21	28	605	480	310
gruyère	36	29	28	810	580	385
camembert	48	19	23	–	–	280
emmenthal	35	28	31	1.145	700	405
gorgonzola	42	19	31	–	–	360
parmesano	33	38	26	1.290	700	390
mozzarella	60	20	16	405	240	245

Los quesos semiblandos, como el gorgonzola, el roquefort, el azul danés y el stilton, son madurados por mohos (el *Penicillium roqueforti* entre otros), bien en el interior, donde son introducidos mediante agujas que los ponen en contacto con el aire necesario para su crecimiento, bien sobre la superficie del queso. Las características ramificaciones verdes y azules de estas variedades son, en efecto, colonias de mohos.

Los quesos blandos, como el taleggio, el camembert y el burgos, son madurados por la acción de cultivos de bacterias aplicados sobre la superficie del queso. La corteza blancuzca o rojiza que frecuentemente se aprecia sobre los quesos blandos está constituida por las esporas bacterianas del *Brevibacterium linens*.

Quesos no madurados No todos los quesos están sometidos a la maduración bacteriana. Los quesitos en porciones, la mozzarella y los quesos de oveja y de cabra están hechos con leche que ha sido cuajada con ácido procedente de la actividad bacteriana, del cuajo y de una inoculación, pero no se les añade después bacterias de ningún tipo.

En la fabricación de algunos quesos, como el asiago y el fontina, la leche cuajada es calentada para favorecer un cuajado ulterior. Numerosos coagulitos regulares son un signo de calidad en estos quesos.

El queso italiano más típico, el "grana" parmesano o reggiano, es fabricado con leche parcialmente descremada; tras la coagulación, la masa cuajada es calentada durante una media hora, escurrida y moldeada. Siguen las fases de salazón y maduración; esta última se puede prolongar hasta dos años.

Según su contenido en grasas, los quesos se clasifican en grasos, semigrasos y magros.

Valor nutritivo El queso es una excelente fuente de grasas, proteínas, aminoácidos, calcio, vitaminas A y D y sales minerales. Muchas variedades tienen altos contenidos en grasa (el taleggio, el provolone) y de sal. Las personas que siguen dietas vegetarianas suelen tomar gran cantidad de queso, como proveedor de proteínas y otras sustancias nutritivas, normalmente obtenidas a partir de la carne y del pescado.

Véase **Alimentación y nutrición; Alimentos; Alimentos, aditivos y conservantes; Bacterias; Fermentación; Quesera, industria**

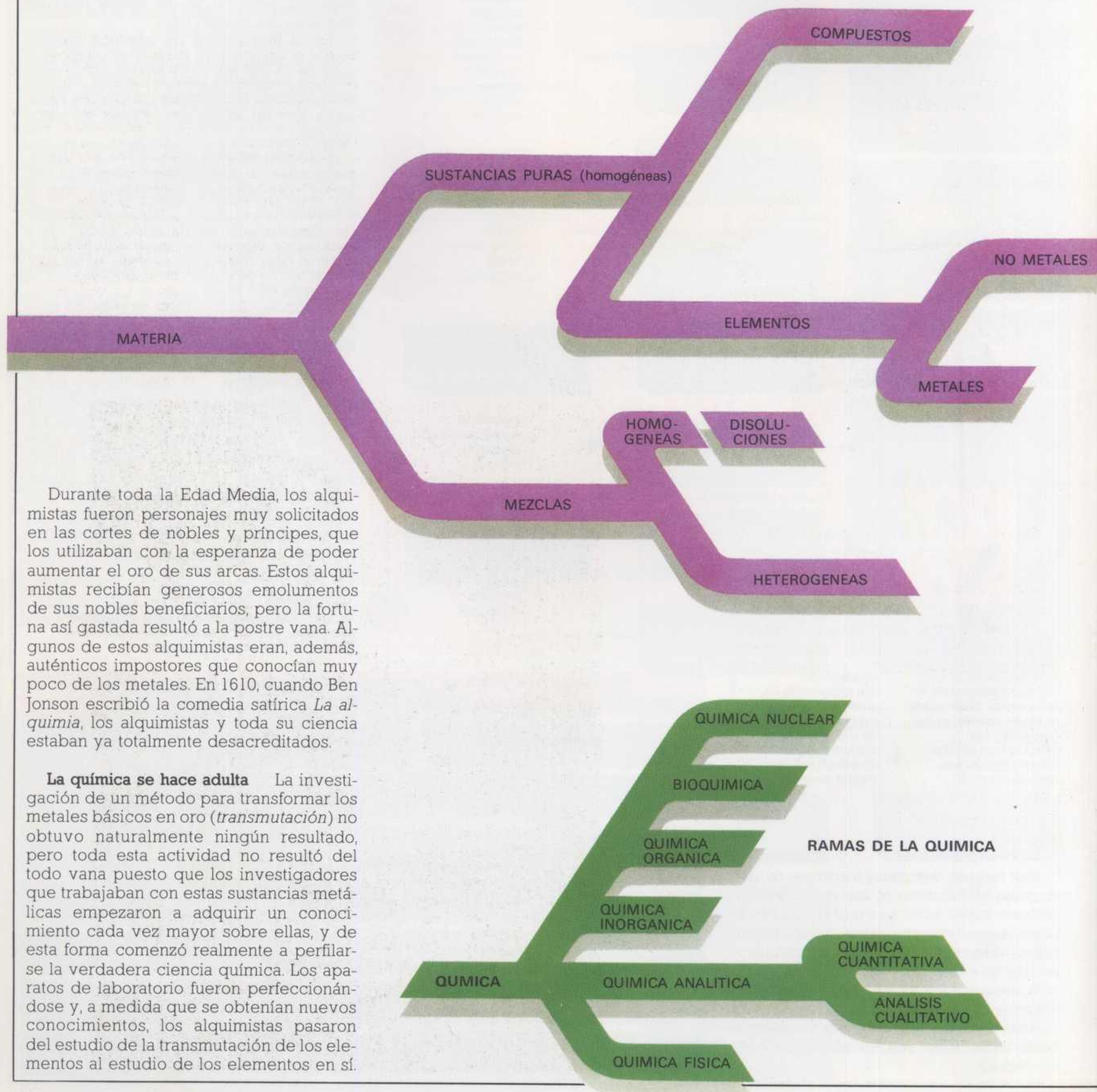
Química

Una gran parte del desarrollo de las ciencias se debe a una serie de importantes descubrimientos producidos de una forma más o menos casual.

Esta serie de descubrimientos accidentales se inició gracias al interés que los filósofos griegos y los artesanos egipcios mostraron hacia la alquimia, en el convencimiento de que podría lograrse la transformación de metales comunes, como el hierro y el plomo, en oro. Toda una serie de motivos, de los cuales el principal fue ciertamente la codicia humana, hicieron que la alquimia se hiciera muy popular en Europa, en China y en el mundo árabe durante más de 1.500 años.

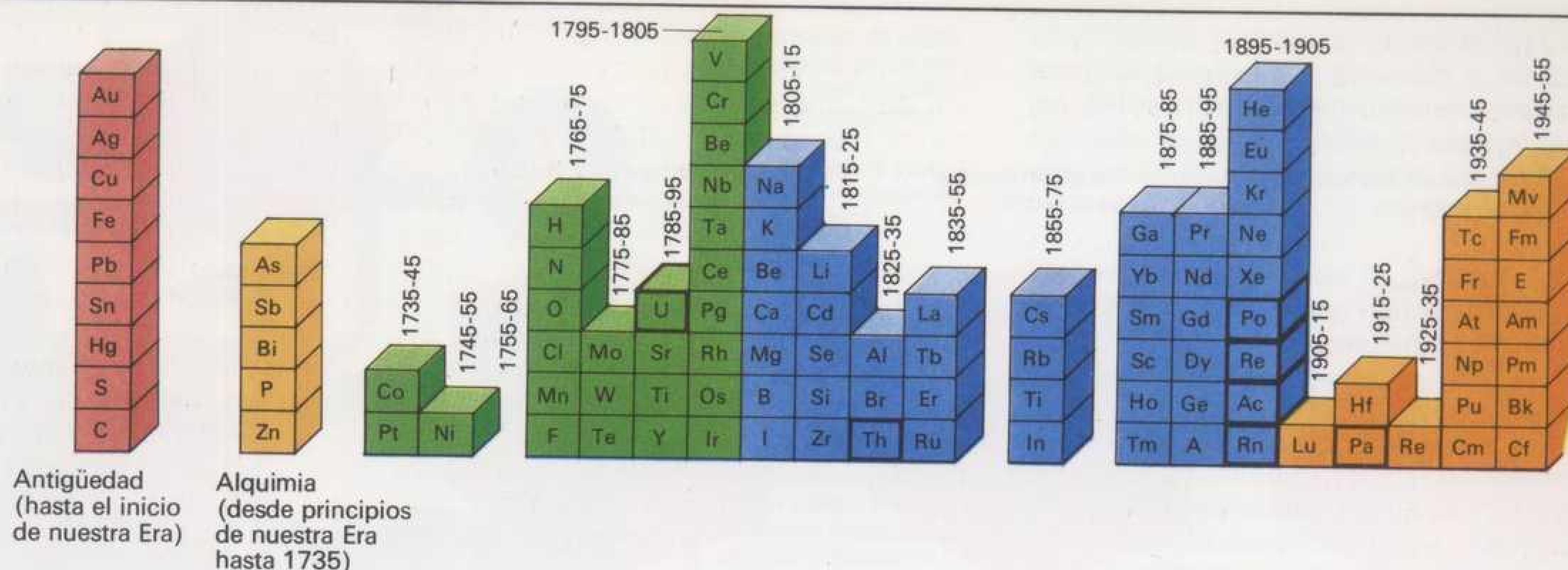
El británico Robert Boyle, irlandés de nacimiento, es considerado como el último de los alquimistas y el primer químico verdadero. Este científico del siglo XVII fue el primero en adoptar la teoría atómica como método para explicar las transformaciones químicas, sentando así las bases de la química moderna como ciencia que estudia la naturaleza y composición de la materia. Boyle sostenía, además, que las teorías debían ser corroboradas por experimentos rigurosos. Otros, por el contrario, consideran que el primer químico fue el científico francés Antoine Lavoisier, a quien se debe el descubrimiento, por métodos rigurosamente experimentales, del oxígeno y del hidrógeno como componentes esenciales del agua y del aire, así como el establecimiento de la verdadera naturaleza de la combustión. En cualquier caso, se consigue establecer que el fin último que se persigue es el de conseguir el conocimiento y la interpretación del comportamiento de la materia que constituye el Universo.

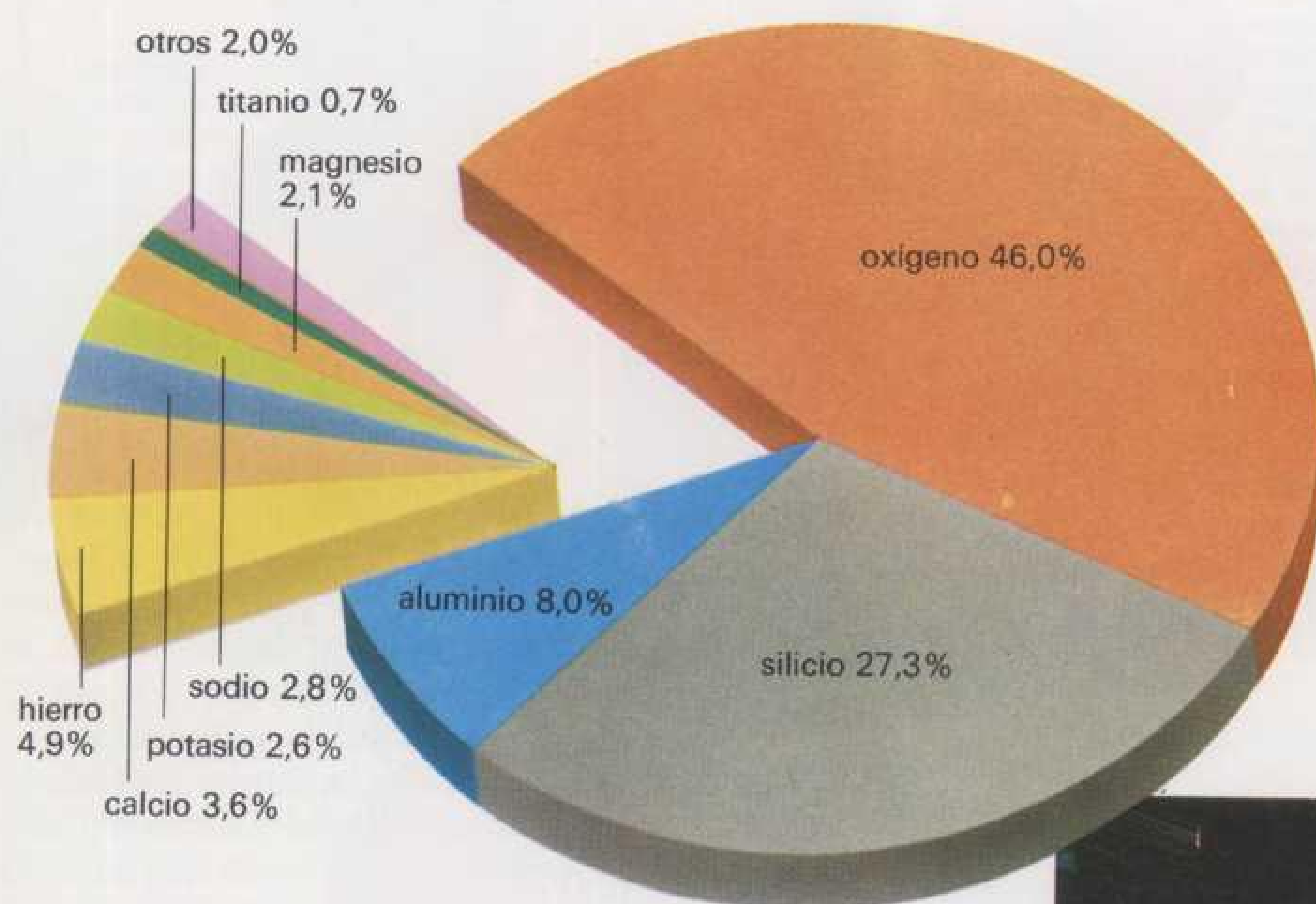
Los dos "ingredientes" fundamentales: energía y materia El problema de interpretar el Universo y de hacerlo más comprensible se simplifica notablemente si reducimos sus innumerables constituyentes a dos básicos: la energía y la materia.



Durante toda la Edad Media, los alquimistas fueron personajes muy solicitados en las cortes de nobles y príncipes, que los utilizaban con la esperanza de poder aumentar el oro de sus arcas. Estos alquimistas recibían generosos emolumentos de sus nobles beneficiarios, pero la fortuna así gastada resultó a la postre vana. Algunos de estos alquimistas eran, además, auténticos impostores que conocían muy poco de los metales. En 1610, cuando Ben Jonson escribió la comedia satírica *La alquimia*, los alquimistas y toda su ciencia estaban ya totalmente desacreditados.

La química se hace adulta La investigación de un método para transformar los metales básicos en oro (*transmutación*) no obtuvo naturalmente ningún resultado, pero toda esta actividad no resultó del todo vana puesto que los investigadores que trabajaban con estas sustancias metálicas empezaron a adquirir un conocimiento cada vez mayor sobre ellas, y de esta forma comenzó realmente a perfilarse la verdadera ciencia química. Los aparatos de laboratorio fueron perfeccionándose y, a medida que se obtenían nuevos conocimientos, los alquimistas pasaron del estudio de la transmutación de los elementos al estudio de los elementos en sí.





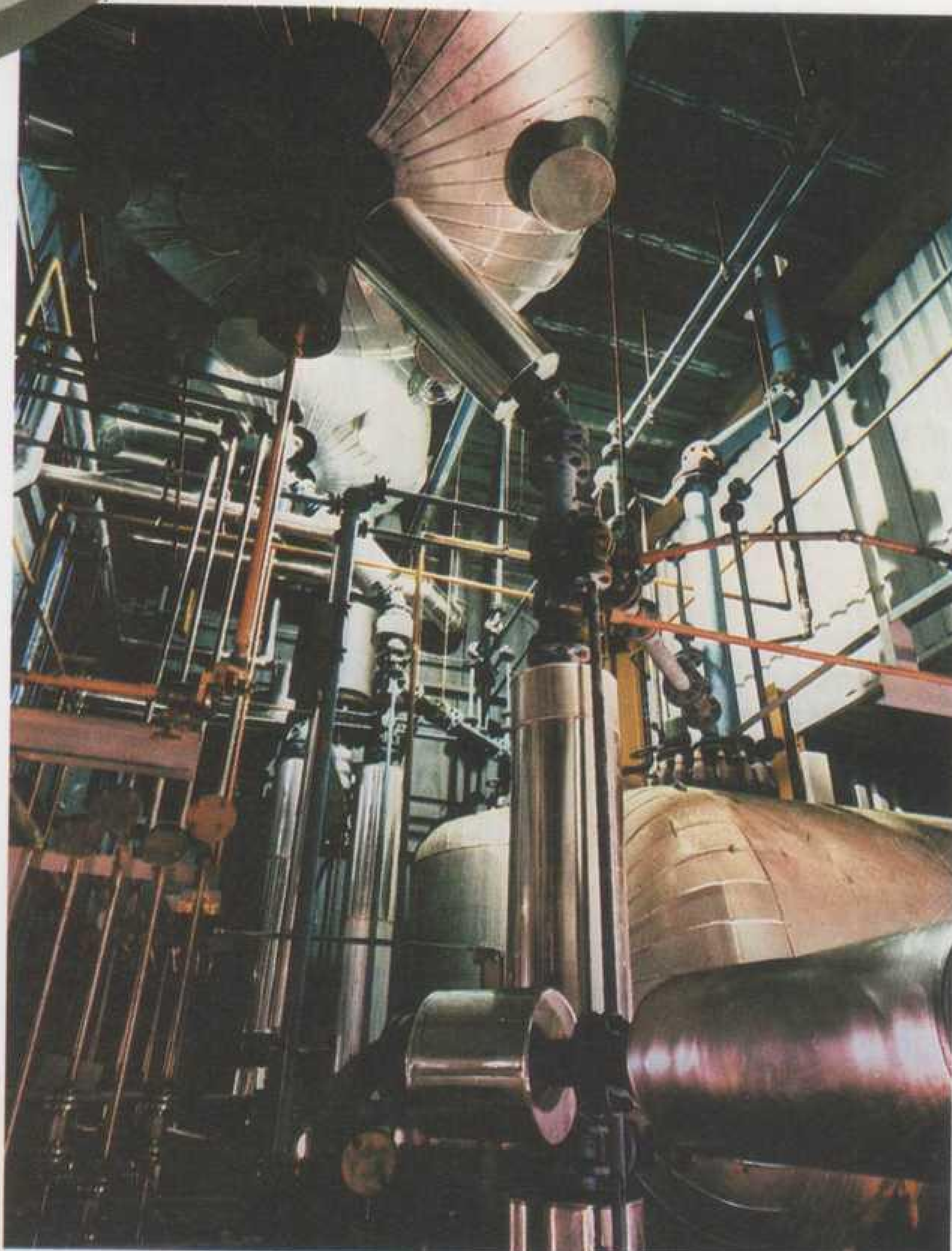
En un sentido muy general, la Química es la ciencia que estudia la naturaleza de las formas (sustancias químicas) en que se presenta la materia y las transformaciones (reacciones químicas) que se producen entre dichas formas, tanto en la Naturaleza como en la industria (abajo). En la página anterior, arriba, clasificación de la materia que permite abarcar de un modo simplificado los diversos campos de acción que desarrolla la Química; abajo, principales ramas en que se puede subdividir la Química.

La variedad de las formas en que aparece la materia, tanto inerte como viva, se debe a las combinaciones que se producen entre los 88 elementos naturales, a los que hay que añadir 18 elementos obtenidos en el laboratorio, actualmente, sin aplicación práctica debido a su gran inestabilidad. Arriba, cronología del hallazgo de los diferentes elementos. De todos, diez constituyen por sí solos el 98% de la materia del Universo, como se aprecia en el diagrama de la izquierda.

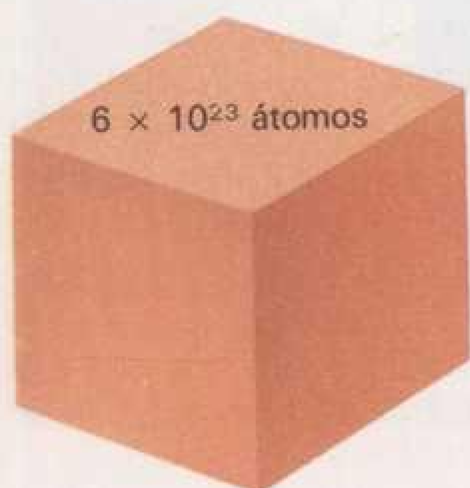
Existen dos formas fundamentales de energía: la energía potencial y la energía cinética. La *energía potencial* puede definirse como la energía que posee un cuerpo en función de su posición dentro de un campo de fuerzas (gravitatorio, eléctrico, etc.), y su valor mide la capacidad latente de dicho cuerpo para desarrollar un trabajo. La *energía cinética* es la energía que posee un cuerpo en función de su estado dinámico o movimiento. Así, según el principio de conservación de la energía, un columpio en movimiento, por ejemplo, posee una energía potencial en su posición más alta que es igual a la energía cinética que adquiere cuando llega a la posición más baja.

La energía puede manifestarse en diversas formas: mecánica, eléctrica, radiante, química, nuclear, etc. La ley de conservación de la energía establece que la energía no puede ser creada ni destruida, sólo cambiada de forma. La unidad básica en que se expresa la energía es el *julio*.

Análogamente, la materia puede subdividirse y estudiarse desde diferentes puntos de vista. Una forma de considerar la materia consiste en estudiar sus características físicas y químicas.

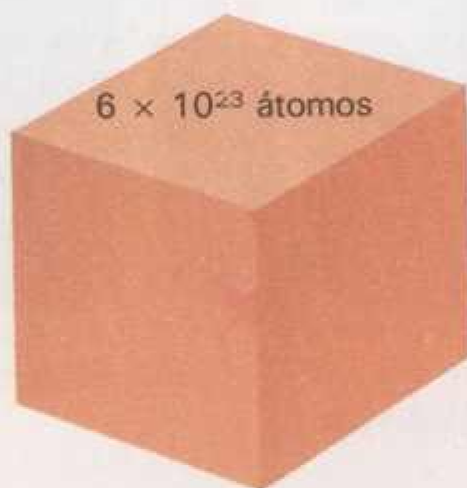


1 mol de átomos de oxígeno



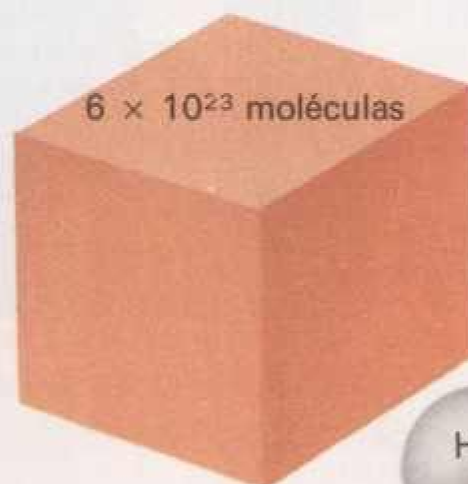


1 mol de átomos de oxígeno



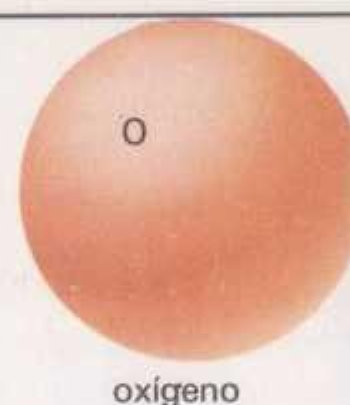


1 mol de moléculas de oxígeno

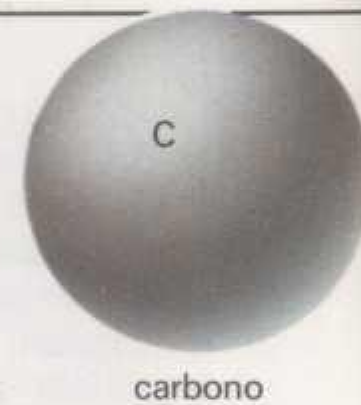


O O

Una cantidad de un elemento, o de un compuesto, equivalente a la masa atómica del elemento, o a la masa molecular del compuesto, expresada en gramos, se llama *mol*: de este modo, dos moles de oxígeno atómico, cada uno con un peso de 16 gramos, se combinan para formar un mol de oxígeno molecular (diatómico), con un peso de 32 gramos; 16 es la masa atómica del oxígeno, 32 es la masa molecular de la molécula de oxígeno. Un mol equivale a $6{,}02 \times 10^{23}$ entes químicos tales como moléculas, átomos, iones, etcétera.







6 × 10²³ moléculas

azúcar

$(C_{12}H_{22}O_{11})$

342 g

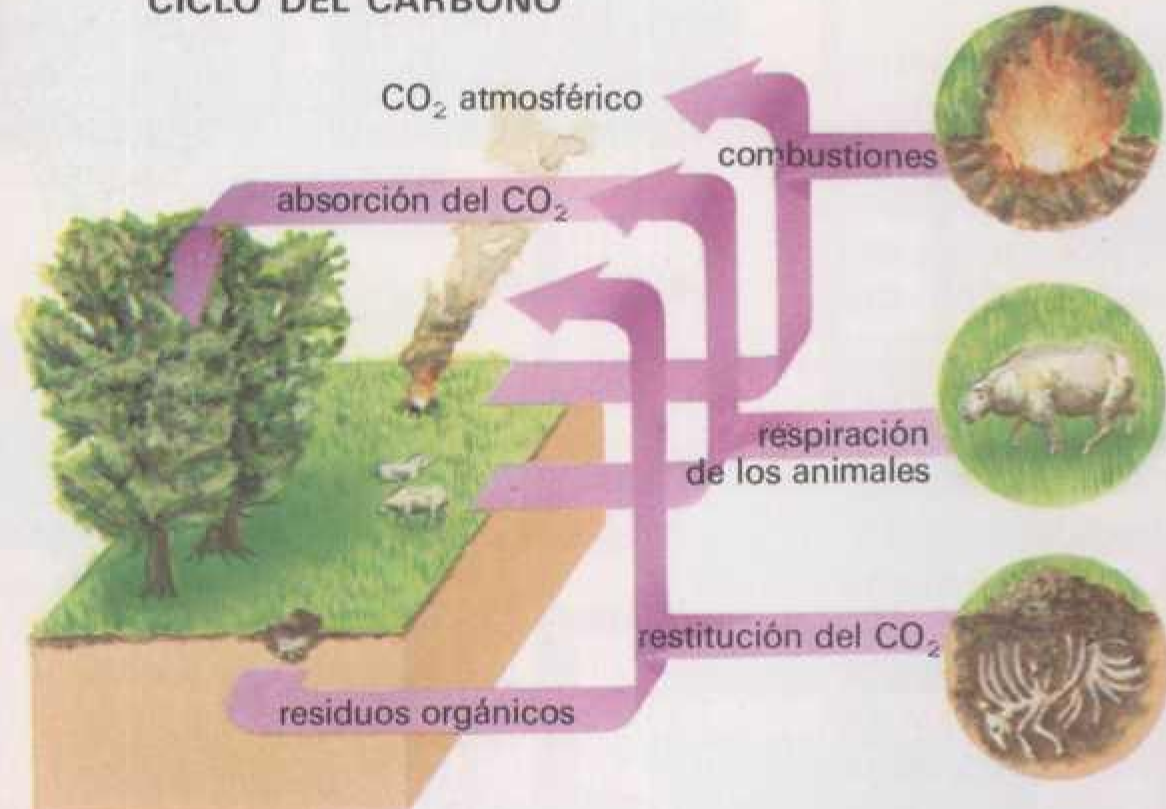
Si una molécula gramo (o mol) de sacarosa, de fórmula empírica $C_{12}H_{22}O_{11}$, fuese descompuesta totalmente en sus átomos constituyentes, se obtendrían 12 moles de átomos de carbono, 22 moles de átomos de hidrógeno y 11 moles de átomos de oxígeno.

Propiedades físicas y químicas de la materia Las propiedades físicas de una sustancia comprenden características como el olor, el color, el sabor, la densidad, la conductividad eléctrica y calorífica, el brillo, la dureza, la ductilidad, la maleabilidad, su estructura cristalina, etcétera. Tales características pueden reconocerse sin necesidad de modificar químicamente la sustancia. Examinando las propiedades físicas de la materia podemos deducir si su estado físico es sólido, líquido o gaseoso.

Las propiedades químicas de una sustancia pueden determinarse en la medida en que esta sustancia reacciona con otras de diversa especie. El hierro, por ejemplo, reacciona lentamente con el agua, formando la herrumbre.

Estudiando las propiedades físicas y químicas de las sustancias se puede llegar a establecer su composición. Según tales determinaciones, las sustancias pueden subdividirse en tres clases principales: elementos, compuestos y mezclas.

Los elementos Un *elemento químico* es una sustancia que no puede ser subdividida en sustancias más simples mediante reacciones químicas. En el Universo existen 88 elementos naturales, aunque en los últimos años se han producido artificialmente casi una veintena de nuevos elementos. Los diez elementos más abundantes en la Tierra son: el oxígeno, el silicio, el aluminio, el hierro, el calcio, el sodio, el potasio, el magnesio, el hidrógeno y el titanio. Sin embargo, los elementos más



Los organismos vivos están "construidos" sobre la química del carbono. A través del ciclo del carbono, que se inicia asumiendo la forma de dióxido de carbono que es captado por las plantas, este elemento va circulando por toda la comunidad viviente.

abundantes en el Universo son el hidrógeno y el helio.

Cada elemento está constituido por partículas químicamente iguales, llamadas átomos: la Química ha sido a veces considerada como el estudio de las propiedades de los átomos. Los átomos de cada elemento se diferencian entre sí tanto por la composición de su núcleo como por el número y distribución de sus electrones.

Los átomos se combinan para formar unidades químicas mayores, denominadas moléculas. Las moléculas están constituidas por dos o más átomos que se mantienen unidos entre sí por enlaces químicos. Por ejemplo, las moléculas de agua están formadas por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Esto puede expresarse con la fórmula química: H_2O.

La Química, al igual que sucede con otras ciencias, tiene un lenguaje propio en el que se utilizan abreviaturas codificadas o símbolos, que se van asignando a cada uno de los distintos elementos. Estas abreviaturas sirven para elaborar las ecuaciones que describen las variaciones que acontecen en el transcurso de una reacción química. Así, por ejemplo, la siguiente ecuación indica el proceso que tiene lugar cuando hidrógeno y oxígeno se combinan para formar agua:



$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Dos moléculas de hidrógeno reaccionan con una de oxígeno para dar dos moléculas de agua.

El agua (H_2O) de la ecuación es un ejemplo de compuesto. Cuando varios átomos de dos o más elementos distintos —como son el hidrógeno y el oxígeno— se combinan, se forma una sustancia que se llama *compuesto químico*.

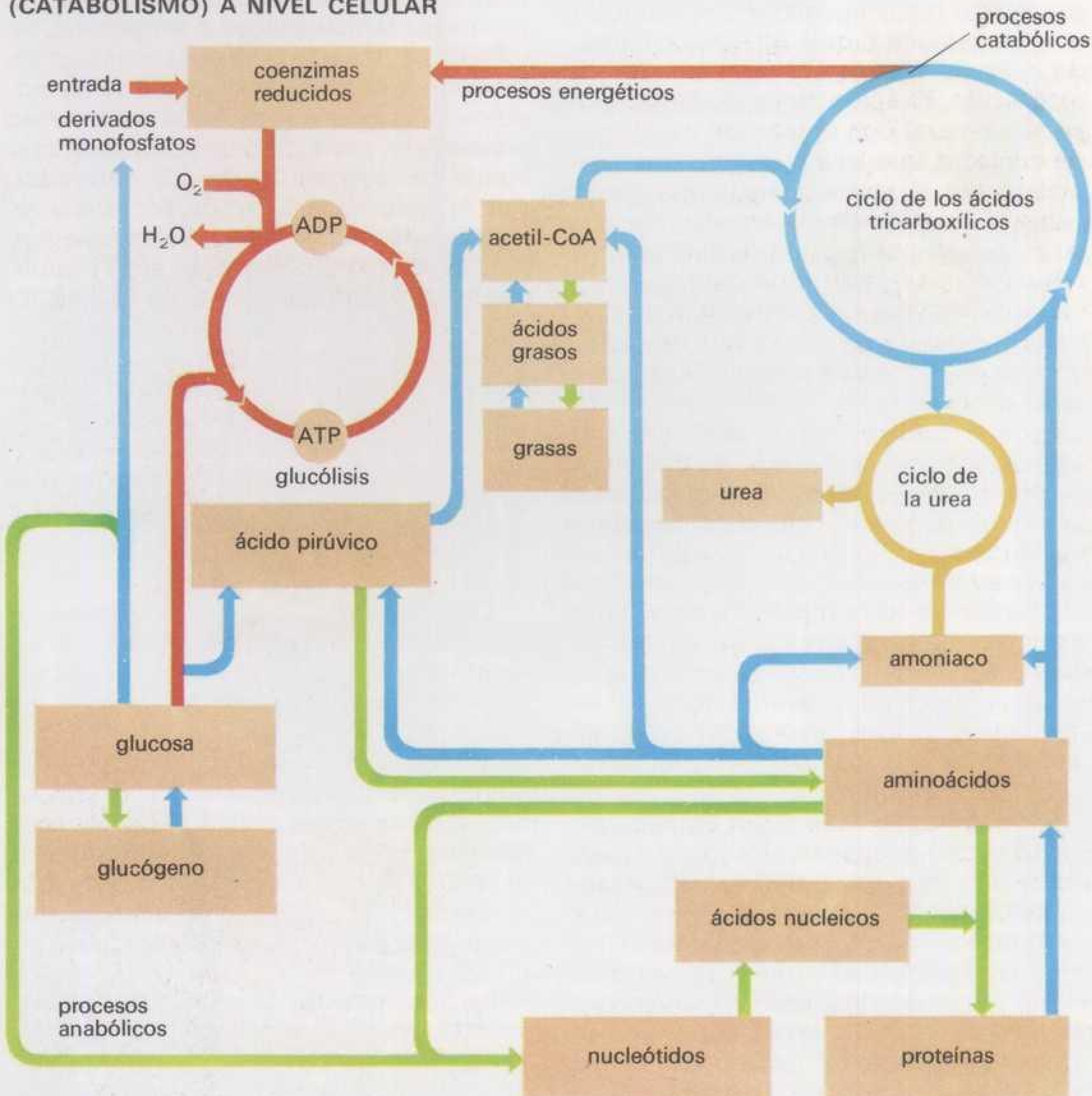
Las mezclas Las mezclas pueden ser muy variadas, ya sea por los elementos o por los compuestos de que constan. Por mezcla se entiende todo material que esté constituido por dos o más sustancias, cada una de las cuales conserva sus características propias e idénticas, independientemente del grado o de la proporción en que estén presentes en la mezcla. En las mezclas permanentes no se presentan reacciones químicas apreciables. Las mezclas pueden ser naturales o artificiales. Entre las mezclas naturales están, por ejemplo, el aire, la leche, la sangre; mezclas artificiales son el vidrio, las pinturas, etcétera.

Distintos campos de la Química Son muy diversos los campos que abarca esta ciencia y, naturalmente, todos ellos están relacionados entre sí. Las parcelas principales de la Química son dos, la Química orgánica, o del carbono, y la Química inorgánica; la primera se centra en el estudio de los compuestos que contienen carbono y la segunda en los compuestos que no lo contienen. Otros campos son la Química física, que estudia las relaciones cuantitativas entre las propiedades de una sustancia y su estructura; la Química analítica, es decir, la que investiga y determina la composición de las sustancias; la Química aplicada, que no es más que la aplicación práctica de la Química en diversos sectores (industria, medicina, medio ambiente, etc.); la Bioquímica, que estudia los procesos químicos que se producen en los seres vivos, etcétera.

Véase **Análisis químico; Atomo; Bioquímica; Elementos; Energía; Materia; Molécula; Química industrial; Química orgánica**

El conjunto de todas las células de un ser vivo es comparable a un complejísimo laboratorio químico, en el cual, bajo las indicaciones de los ácidos nucleicos, se desarrollan millares de reacciones simultáneas. De estas transformaciones bioquímicas (abajo) algunas comportan la síntesis (anabolismo) y otras la escisión (catabolismo) de los compuestos. Los procesos metabólicos se han indicado en azul y marrón; los anabólicos, en verde, y los implicados en la producción y aprovechamiento de la energía, en rojo. Todas estas reacciones y mecanismos constituyen lo que se conoce como *metabolismo*.

REACCIONES BIOQUIMICAS DE SINTESIS (ANABOLISMO) Y DE ESCISION (CATABOLISMO) A NIVEL CELULAR



Química industrial

La industria química en su compleja actividad se encuentra a veces en la extraña paradoja de ser al mismo tiempo el mejor cliente y la mayor competidora de sí misma. En efecto, la mayor parte de los productos que una sociedad vende directamente en el mercado deriva de una serie más o menos larga de transformaciones químicas de otros productos. Una empresa química con actividad integral, a partir de un determinado nivel de transformación, utiliza para elaboraciones ulteriores productos fabricados por ella misma, introduciendo, por lo tanto, un fenómeno más o menos pronunciado de competencia interior debido a la falta de venta de los productos utilizados por la misma sociedad para la fabricación de los productos sucesivos.

Sectores de la química industrial Las tres ramas más importantes de la química industrial son: la química inorgánica de base, la química orgánica de base y la química fina. La separación entre estos sectores no es, naturalmente, tan neta, ya que en realidad son interdependientes y se solapan con frecuencia.

Química inorgánica de base Uno de los compuestos más importantes de este sector y de la química en general es el ácido sulfúrico. En efecto, este reactivo es tan fundamental para tal cantidad de procesos que es difícil encontrar un producto o una manufactura que no haya requerido para su fabricación la utilización de este ácido. El ácido sulfúrico se obtiene por lo general con el método catalítico o de contacto, que ha suplantado casi completamente al método tradicional de las cámaras de plomo, ya que permite producir directamente ácido puro, tal y como es requerido por la industria química. Otros compuestos fundamentales de la química inorgánica de base son el hidrato sódico y el cloro. Estos dos productos se obtienen a partir de la sal común, cloruro de sodio, de la cual se derivan mediante procedimiento electrolítico; la economía de su producción está por lo tanto ligada al equilibrio entre los consumos de ambos productos.

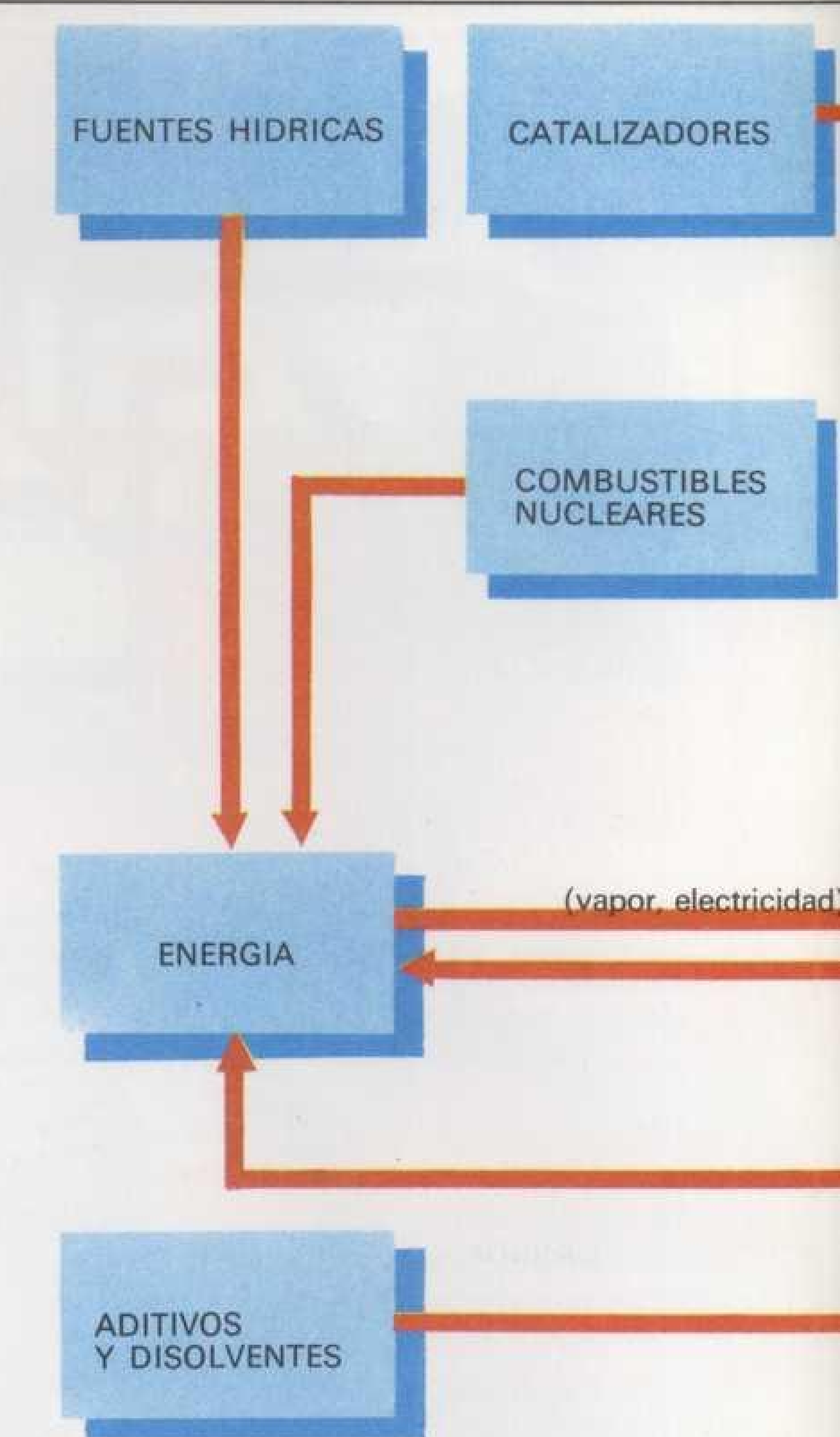
Cuando a principios de siglo se afirmó el proceso de electrolisis de la sal a hidróxido de sodio y cloro, se produjo una crisis de superproducción de cloro; en efecto, el consumo de hidróxido de sodio aumentaba debido a las crecientes necesidades de la industria del vidrio, de los jabones y de la industria química en general, mientras que el aumento en el consumo del cloro no era tan acentuado. Con el fin de encontrar una salida comercial para el cloro, que inevitablemente se producía junto con el hidróxido de sodio en el proceso electrolítico, la industria estudió otras aplicaciones de este producto, llegando al establecimiento en el mercado de los disolventes orgánicos clorurados. En los años cincuenta, la situación se invirtió, ya que la demanda de cloro aumentó alarmantemente, tanto en el sector de los disolventes clorurados, que estaban en expansión, como en el nuevo sector de los polímeros vinílicos.

El problema era entonces encontrar una salida al hidróxido de sodio, producido en exceso en relación a la demanda. Siendo el hidróxido de sodio electrolítico más puro que el obtenido por medio del proceso tradicional de calcinación del carbonato de sodio (sosa Solvay), el problema se resolvió parcialmente empleándolo en sustitución del carbonato en la industria del vidrio (en tal caso el hidróxido se transforma en carbonato utilizando dióxido de carbono: proceso inverso a la calcinación). En los últimos años se ha ido trazando otra posibilidad para reequilibrar los consumos de hidróxido de sodio y de cloro, utilizando el ácido clorhídrico, obtenido en las reacciones de cloruración de compuestos orgánicos, para nuevas cloruraciones (previa oxidación del cloro del ácido) y disminuyendo así la demanda de cloro electrolítico.

Química orgánica de base El carbón ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la química orgánica industrial, permitiendo obtener toda una serie de productos intermedios importantes, desde el amoniaco y los fenoles, al antraceno y otros hidrocarburos aromáticos, materias primas fundamentales para la industria de los colorantes sintéticos, de los productos farmacéuticos y, en general, de toda la industria de la síntesis orgánica. En los últimos tiempos, la situación se ha modificado, ya que la llegada de las materias plásticas ha producido una demanda creciente de benceno y de sus derivados, que la química del carbón no estaba en condiciones de satisfacer. Solamente con la utilización del petróleo ha sido posible satisfacer plenamente esta demanda. El benceno, el tolueno, el xileno, la naftalina y otros hidrocarburos aromáticos son materias primas fundamentales para obtener centenares de importantes derivados químicos utilizados en la industria farmacéutica así como en las industrias de los fitofármacos, colorantes, plásticos, fibras y cauchos.

Química fina Los dos sectores más conocidos de la química fina son el de los colorantes y el de los productos farmacéuticos. El primer colorante sintético fue derivado, por casualidad, del benceno por sir William Perkin en 1856. En la segunda mitad del siglo XIX, los químicos alemanes desarrollaron la mayor parte de los diferentes tipos de colorantes utilizados. En el campo de los productos farmacéuticos, el empleo de compuestos sintéticos en sustitución de los naturales es bastante reciente.

La actividad de la química fina comprende, además, la preparación de otros numerosísimos compuestos, que van desde los aditivos para los procesos químicos hasta los utilizados en las industrias alimenticia y textil.

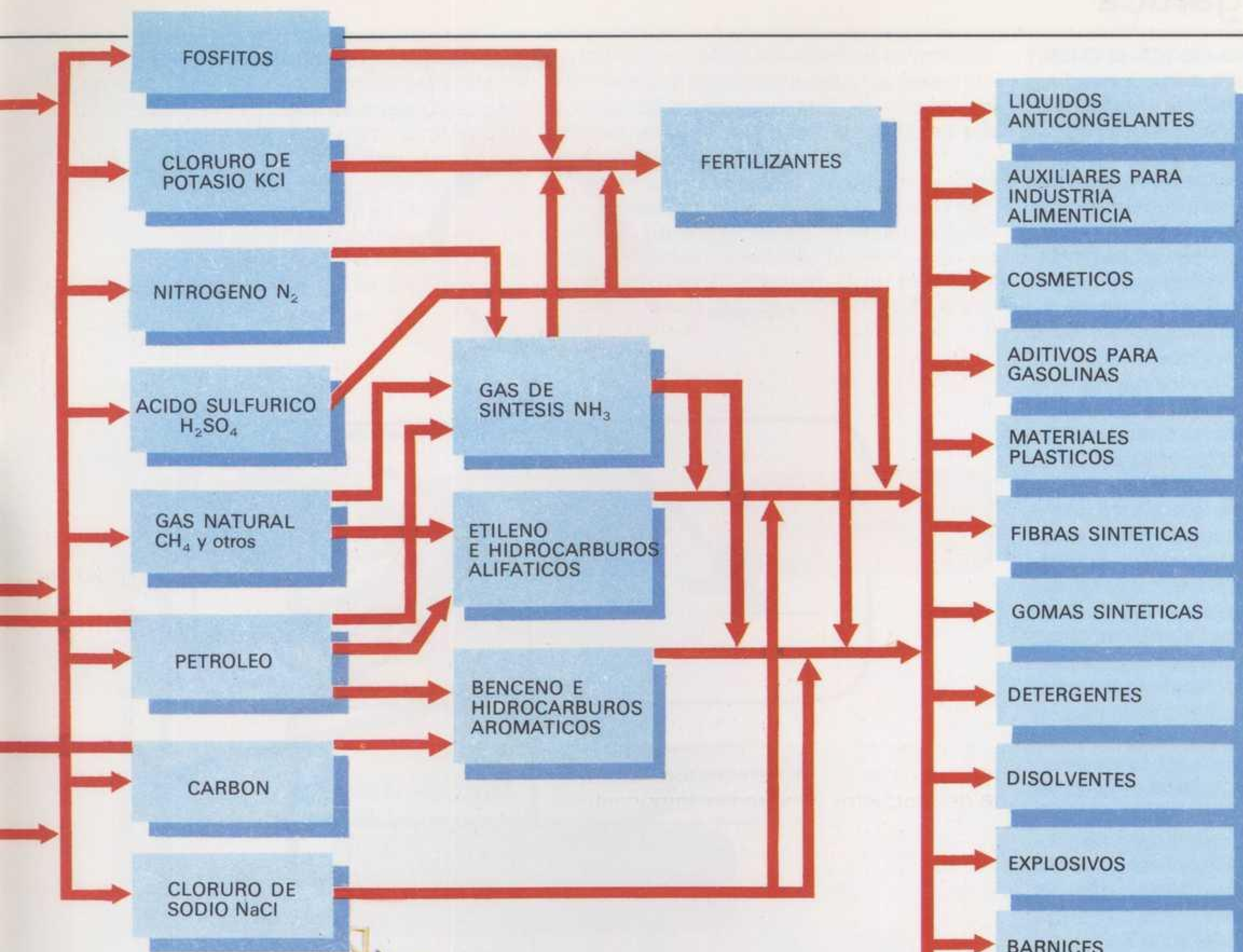


PRINCIPALES FLUJOS PRODUCTIVOS DE LA QUIMICA INDUSTRIAL

Principales aplicaciones de los productos químicos Los productos de la industria química se emplean prácticamente en todos los sectores productivos. La utilización de los fertilizantes ha permitido aumentar notablemente la productividad del suelo, obteniendo cosechas cada vez más abundantes a partir de una misma superficie cultivada, así como transformar suelos estériles en suelos fértiles. Igualmente se ha conseguido un notable incremento en la producción agrícola gracias a la utilización de los insecticidas y de los herbicidas producidos por la industria química. Con los polímeros de la industria química órganica de base se han obtenido las fibras sintéticas, que han causado una auténtica revolución en el sector textil, y los plásticos, que se subdividen en un número elevadísimo de productos y materiales, a veces muy distintos entre sí, y que son empleados en todos los campos, desde la construcción hasta los electrodomésticos y la industria.

Recientemente se ha puesto a punto un tipo de materiales plásticos, estudiados para vuelos espaciales, con características extremadamente mejoradas y que en el futuro podrán ser utilizados en sectores de más amplio consumo para aplicaciones que requieren características mecánicas particulares.

Véase **Detergente; Farmacéuticos, productos; Fertilizantes; Herbicidas; Petroquímica; Química; Química orgánica**



Energía y materias primas son la base a partir de la cual la química industrial fabrica innumerables sustancias, algunas extraídas de lo que suministra la Naturaleza, otras creadas por medio de síntesis muy complejas. Todas son llevadas *a un grado* más o menos elevado de pureza en función de sus aplicaciones. Con el término de química industrial se define toda una serie de actividades que conduce a estas transformaciones, las cuales pueden ser orientadas bien a la obtención de pequeñas cantidades de productos sofisticados y muy especializados, bien a la producción de ingentes cantidades de sustancias de estructura simple o, a veces, compleja. En el primer caso se habla de química fina, en el segundo de química base. En muchos casos la química fina utiliza como materias primas los productos de la de base. Detrás de toda esta actividad está la investigación y la ingeniería química.

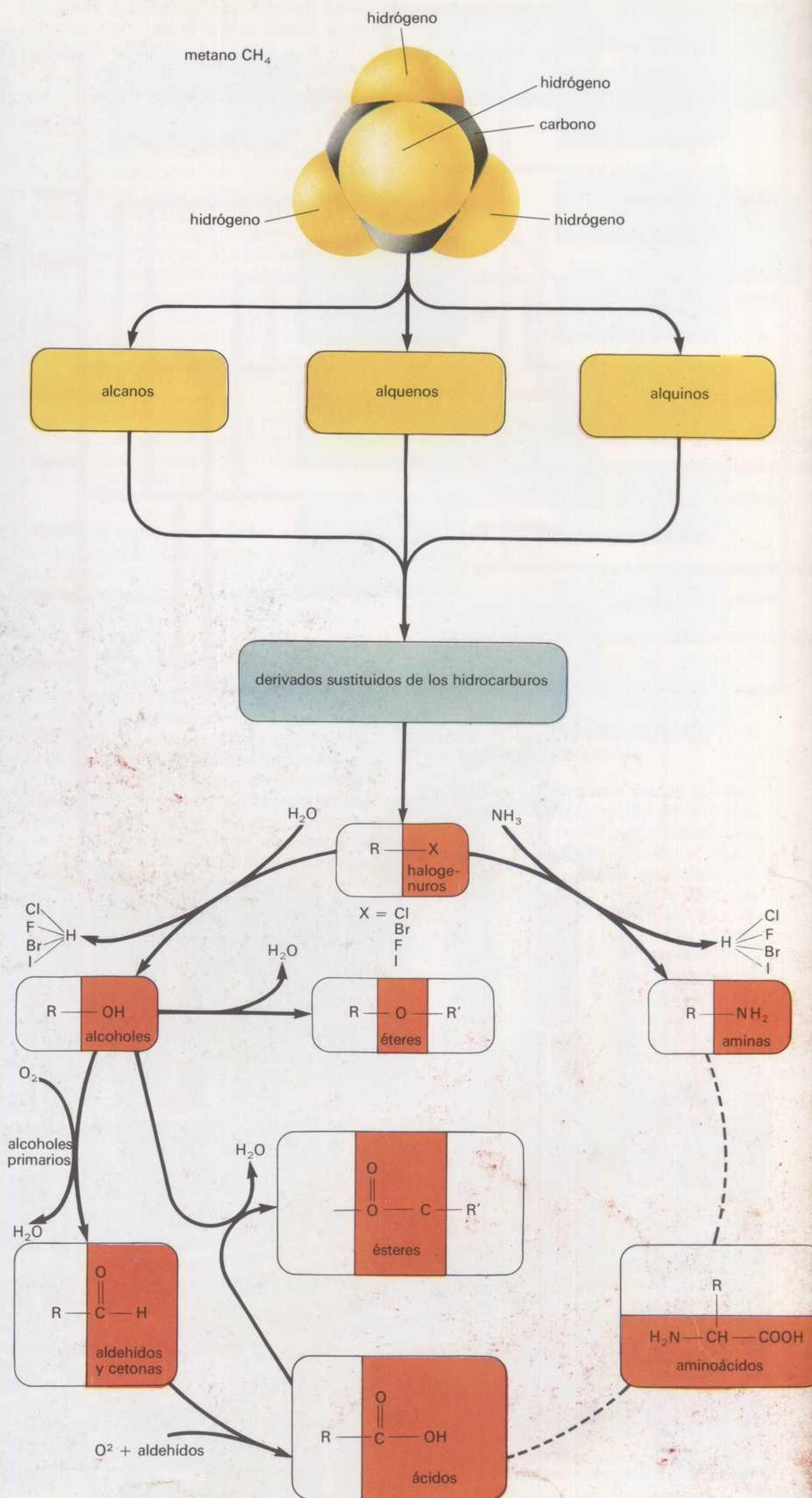
Química orgánica

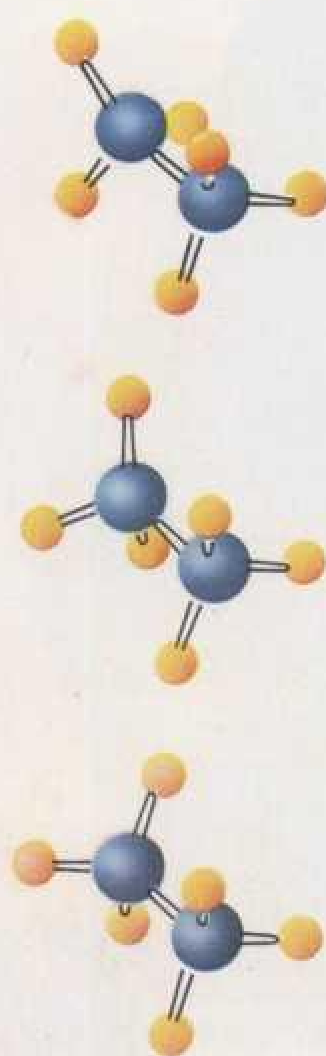
Hasta mediados del siglo XIX, la Química orgánica fue un campo cerrado y homogéneo. Se pensaba que si bien era posible transformar un compuesto orgánico en otro, era imposible preparar alguno de ellos a partir de compuestos o elementos puramente inorgánicos. Se atribuía a la "fuerza vital" el privilegio de poder realizar la síntesis orgánica. Uno de los defensores más notables de esta teoría fue el físico y químico alemán Georg Ernst Stahl. En 1694, Stahl y su íntimo amigo y colega Friedrich Hoffman organizaron la nueva escuela médica de la Universidad de Halle. Los dos científicos trabajaron en estrecha colaboración, pero después de un cierto tiempo se creó entre ambos una divergencia fundamental sobre esta teoría. Hoffman, como Isaac Newton y otros científicos de su época, consideraba a los seres vivos como máquinas cuyo funcionamiento podía ser explicado mediante las leyes de la Mecánica clásica. Según Stahl, en cambio, tanto los seres humanos, como las plantas y los animales, poseían una segunda naturaleza inmaterial, el "ánima", que les confería esa misteriosa fuerza interna o "fuerza vital".

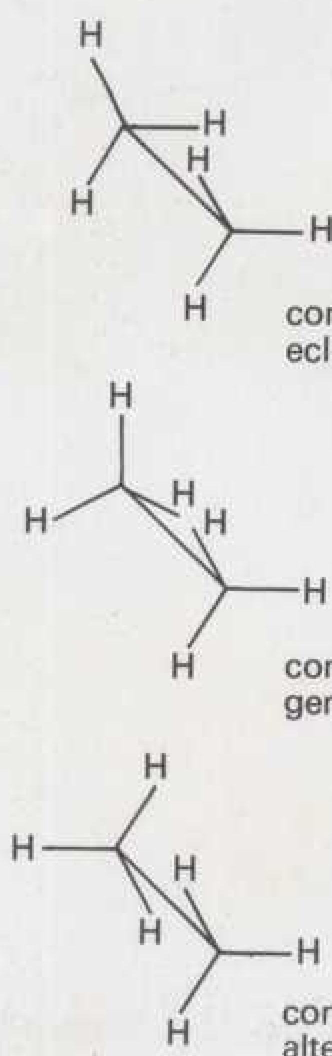
Stahl no fue ciertamente el primero en enunciar la teoría del animismo o de la fuerza vital. De hecho, ésta fue enunciada ya por Aristóteles y, probablemente, por el primer filósofo que se opuso a la idea de que los seres humanos pudieran ser comparados a las piedras, a los minerales o a otros objetos inanimados. Incluso algunos de los científicos más relevantes, como Jöns Kabok Berzelius, que en 1807 creó el término de "química orgánica", eran defensores convencidos de la teoría de la fuerza vital.

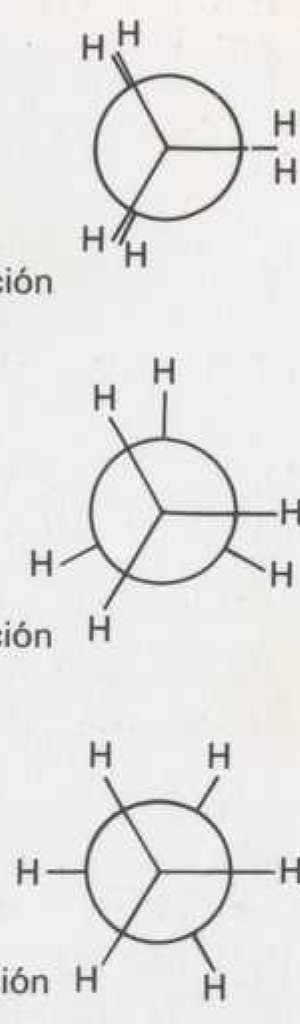
Finalmente, los trabajos experimentales de Friedrich Wöhler dieron la razón a Hoffman. En 1828, Wöhler consiguió sintetizar, a partir de compuestos estrictamente inorgánicos, un compuesto típicamente orgánico como la urea (contenido en casi todos los líquidos orgánicos del cuerpo y en particular en la orina). Esta síntesis se consiguió sin la intervención de ninguna "fuerza vital". De esta forma, Wöhler inició el abandono de la teoría de la fuerza vital, que más tarde sería completamente desechada al lograrse la preparación en laboratorio de muchos otros compuestos orgánicos.

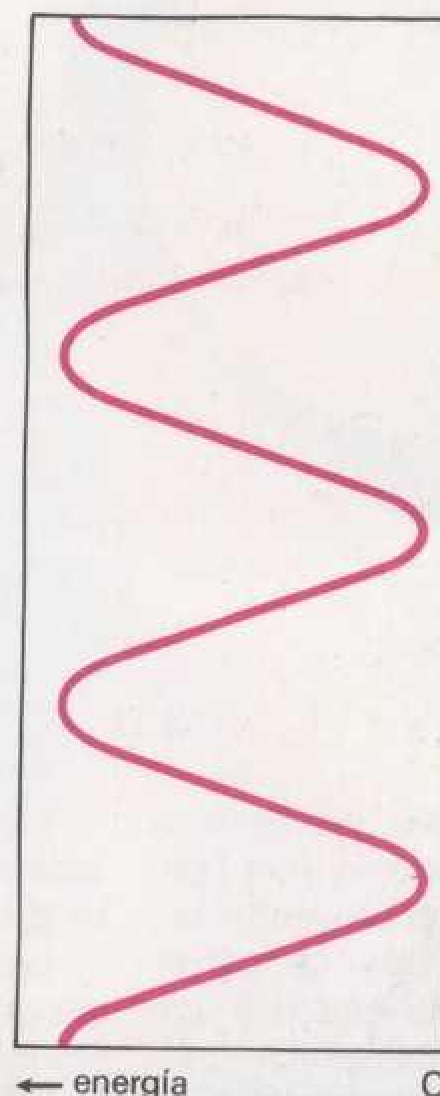
Definiciones de la Química orgánica El estudio de la Química orgánica se inicia en el período precedente al experimento de Wöhler, cuando las sustancias se subdividen en dos grandes clases: las sustancias derivadas de las piedras y de otros minerales eran clasificadas como inorgánicas, mientras que las procedentes de las plantas y de los animales lo eran como orgánicas. Como ya hemos visto, pronto se demostraría que las sustancias orgánicas podían ser sintetizadas en el laboratorio, y que, por tanto, no debían ser necesariamente derivadas de los organismos vivos, a pesar de lo cual se ha mantenido el término "orgánico" dada su utilidad.









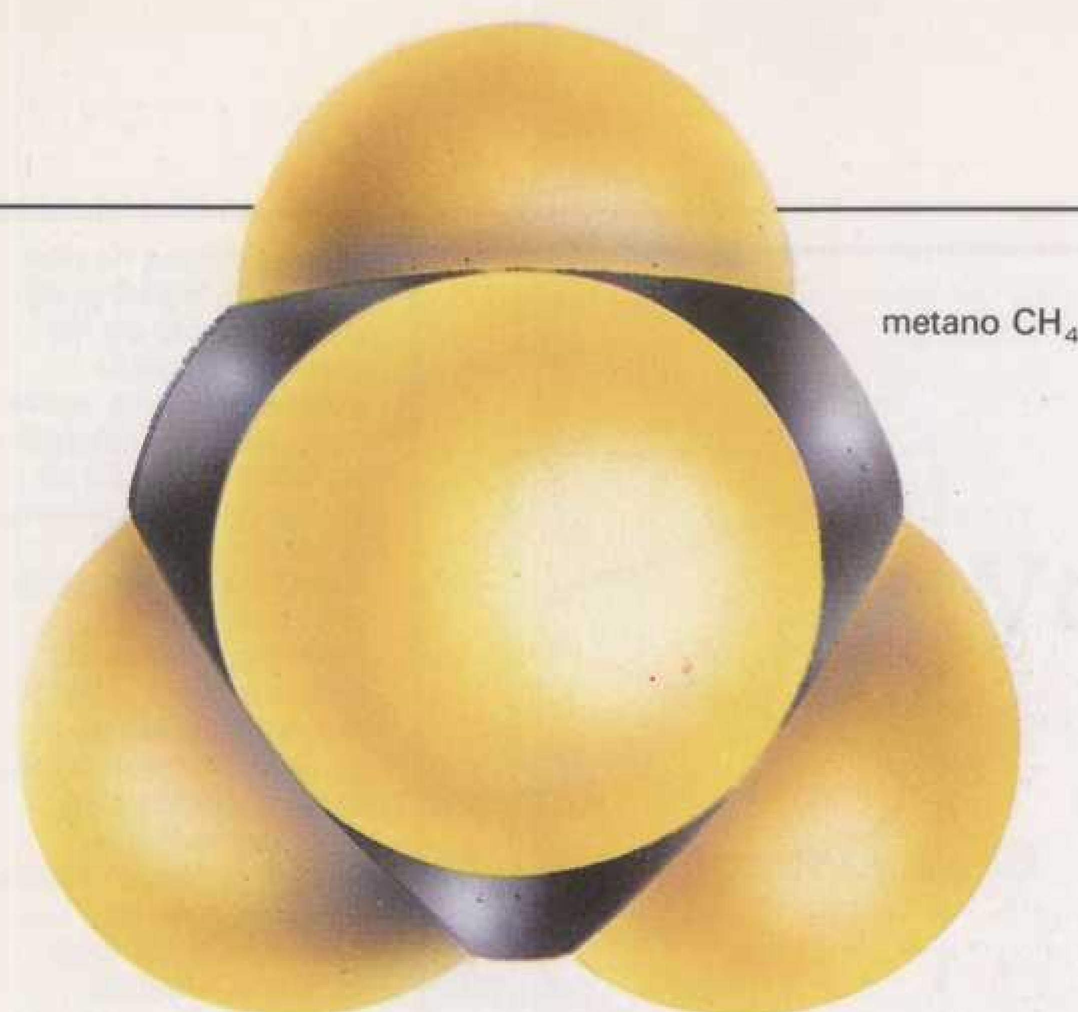


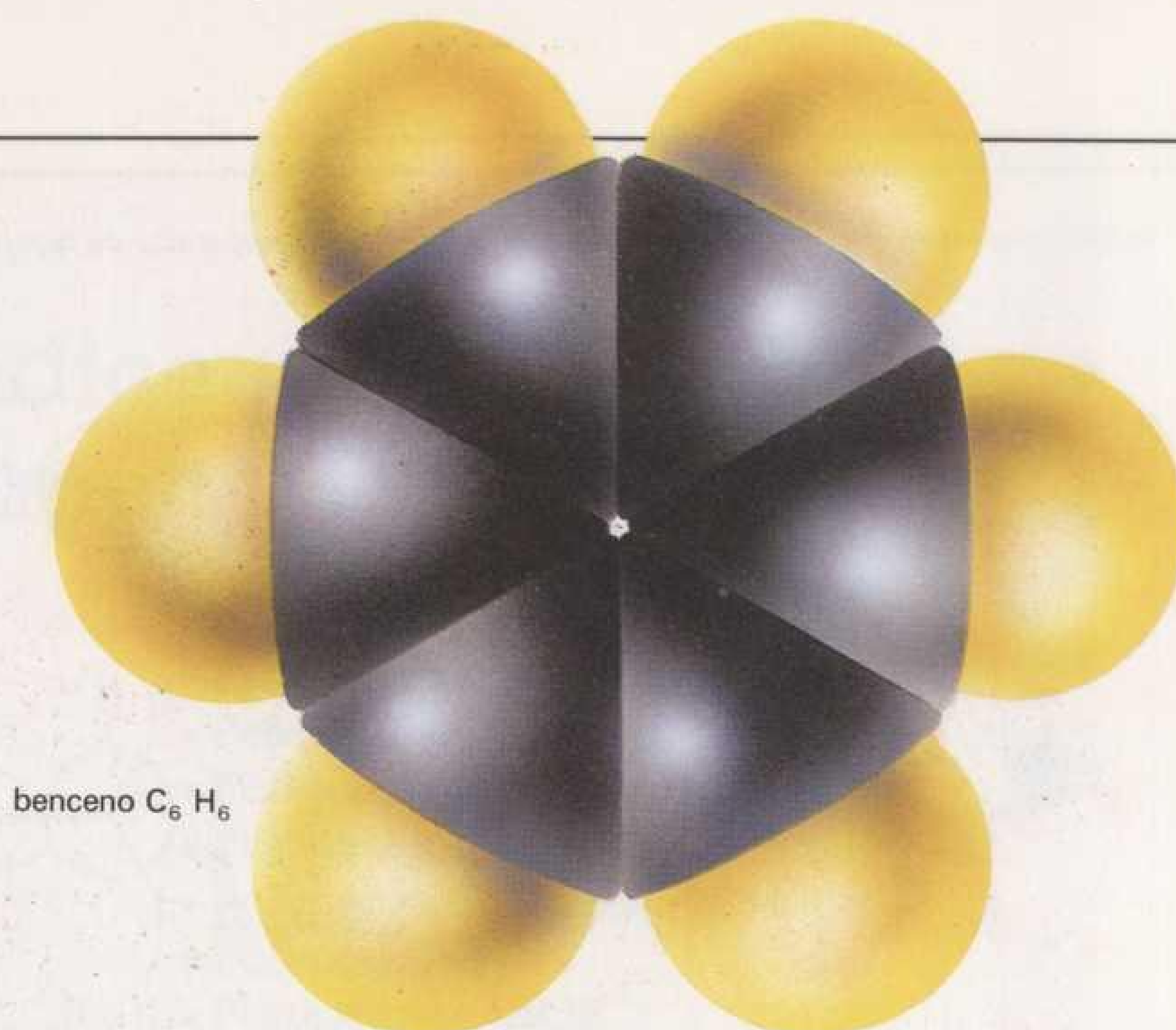
La reactividad de una molécula orgánica no depende sólo de los elementos que la componen, sino, sobre todo, de su disposición espacial alrededor de los átomos de carbono. En el esquema, el modelo de la molécula del etano, la disposición especial de los enlaces y, en la última columna de la derecha, la rotación de los dos grupos CH_3. La curva indica la variación del contenido energético de la molécula al cambiar su forma esférica: como puede verse, cada variación corresponde a una diferente reactividad del compuesto.

La Química orgánica constituye el sector de la ciencia que se ocupa del estudio de los compuestos de carbono. En la actualidad se emplea cada vez más el término Química del carbono para designar la química de las sustancias de origen orgánico y la de aquellas otras que contienen el elemento carbono y han sido sintetizadas en el laboratorio. Estos compuestos constituyen la mayoría de la materia de la que están constituidos las plantas y los animales. Incluso un organismo unicelular contiene miles de compuestos de carbono. El carbono tiene el número atómico 6, lo cual significa que el núcleo de su átomo tiene 6 protones y está rodeado por seis electrones. Cuatro de éstos son electrones de valencia, esto es, electrones que pueden unirse con los electrones de valencia de otros elementos para formar compuestos químicos. El símbolo químico del carbono es C.

Características de los compuestos orgánicos Una característica fundamental del carbono es su tendencia a compartir sus propios electrones de valencia con los de otros átomos de carbono o de otros elementos para formar compuestos químicos con estructuras de cadena o de anillo. Los compuestos orgánicos poseen asimismo la característica de formar *isómeros*, esto es, sustancias con igual número de átomos de cada clase en la molécula, pero con una disposición y unas propiedades distintas.

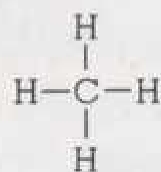
La capacidad del carbono para formar compuestos es verdaderamente sorprendente. Se han caracterizado y sintetizado no menos de 500.000 compuestos de carbono diferentes, aunque el número de compuestos de carbono potencialmente obtenibles es mucho más elevado. Esto se debe a que el carbono puede combinarse


metano CH_4


benceno C_6 H_6

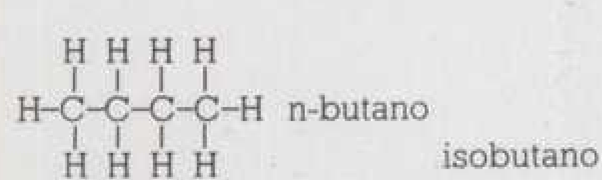
fácilmente con muchos otros elementos, como el oxígeno y el hidrógeno, con metaloides, como el azufre y el silicio, e incluso con numerosos metales. La razón principal de la formación de tantos y tan variados tipos de moléculas orgánicas reside en el hecho de que los átomos de carbono pueden combinarse entre sí mediante la formación de enlaces muy fuertes. De esta manera se pueden formar cadenas muy largas y estables de átomos de carbono que, a su vez, pueden ramificarse indefinidamente dando lugar a un gran número de moléculas complejas.

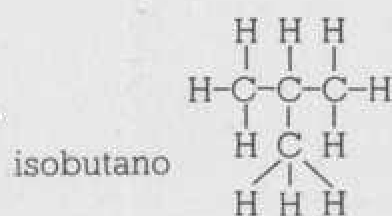
Los distintos tipos de compuestos orgánicos Los compuestos de la Química del carbono pueden subdividirse según su estructura en tres clases principales: compuestos alifáticos, compuestos aromáticos y compuestos heterocíclicos. Veremos aquí la fórmula de la estructura del metano (el compuesto principal del gas natural), uno de los compuestos de carbono más simples. Cuando el carbono se combina con un elemento cuyos átomos sólo poseen un electrón de valencia —en este caso, el hidrógeno—, dicho átomo de carbono puede unirse a cuatro de esos átomos para formar un compuesto, el metano, cuya fórmula estructural es la siguiente:



El átomo de carbono se encuentra en el centro de un tetraedro con los átomos de hidrógeno situados en los cuatro vértices del mismo. La fórmula es una especie de diagrama bidimensional de una molécula tridimensional de metano.

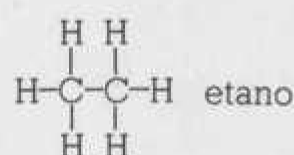
Las cadenas de los compuestos alifáticos pueden ser lineales (como el n-butano) o ramificadas (como el isobutano):

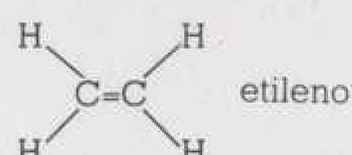

n-butano


isobutano

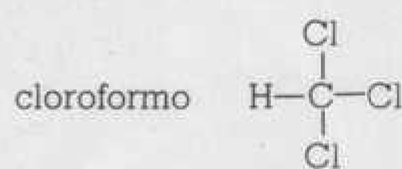
Estos compuestos son hidrocarburos, esto es, compuestos constituidos solamente por átomos de carbono e hidrógeno.

Los compuestos alifáticos pueden estar saturados (como el etano) o insaturados (como el etileno). Un compuesto saturado tiene únicamente enlaces sencillos, mientras que un compuesto insaturado contiene al menos un doble o un triple enlace:

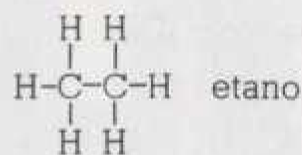

etano

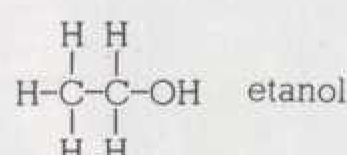

etileno

Sustituyendo los átomos de hidrógeno de una cadena alifática por otros elementos o grupos de elementos, se obtienen compuestos sustituidos que poseen la misma cadena base de átomos de carbono del hidrocarburo del que derivan. Por ejemplo, sustituyendo tres de los átomos de hidrógeno del metano por átomos de cloro, se obtiene el tricloroetano o cloroformo ($CHCl_3$).


cloroformo

Sustituyendo los átomos de hidrógeno de un compuesto orgánico por un grupo oxhidrilo, se obtiene toda una serie de compuestos denominados alcoholes. Por ejemplo, el metanol (alcohol metílico) deriva del metano, el etanol (alcohol etílico, contenido en el vino y en la cerveza) derivada del etano


etano


etanol

Compuestos aromáticos Los compuestos aromáticos se denominan de esta manera porque muchos de ellos producen un olor característico (no siempre agradable). El término aromático se aplicó originalmente a ciertos aceites naturales para distinguirlos de los hidrocarburos alifáticos.

La estructura molecular de los hidrocarburos aromáticos deriva de la base del benceno. El benceno es un compuesto orgánico muy importante, dado que a partir de él puede obtenerse un gran número de compuestos sintéticos. Análogamente a los átomos de carbono, que pueden unirse para formar largas cadenas de compuestos alifáticos, los anillos bencénicos pueden unirse para formar centenares de miles de compuestos diferentes, como los colorantes, los barnices, los productos farmacéuticos, los perfumes, los pegamentos, los materiales plásticos y muchos otros. La molécula de benceno está constituida por seis átomos de carbono dispuestos en forma de anillo plano hexagonal, con un átomo de hidrógeno unido a cada uno de los átomos de carbono. Estos se encuentran unidos entre sí por enlaces simples y dobles en secuencia alterna, según la estructura de Kekulé.

El gran número de derivados obtenibles del benceno se debe al hecho de que en cada anillo bencénico existen seis puntos de sustitución. La naftalina, por ejemplo, se obtiene mediante la unión de dos anillos bencénicos.

Compuestos heterocíclicos Los compuestos heterocíclicos son todos compuestos orgánicos de estructura cíclica (o de cadena cerrada) que comprenden al menos un átomo diferente del carbono en la cadena principal. Tales estructuras heterocíclicas se encuentran en numerosas sustancias naturales, como los ácidos nucleicos, los alcoholes, las vitaminas y las proteínas.

Todos los elementos con valencia superior a 1 en condiciones de combinarse con el carbono pueden entrar a formar parte de estructuras heterocíclicas. Los compuestos más típicos de esta clase son la piridina, el pirrol, el furano y el tiofeno.

Véase **Anillo bencénico; Carbono; Hidrocarburos; Química; Reacción química**



La Química orgánica es la Química de los compuestos del carbono, entre los que los hidrocarburos representan el grupo más importante, al menos desde el punto de vista de sus aplicaciones industriales. Los hidrocarburos están compuestos por átomos de carbono y de hidrógeno. Estos últimos pueden ser sustituidos por numerosos elementos y grupos. Debajo, la trama regular de la estructura del diamante, constituido por carbono puro. A la izquierda, representación tridimensional de las moléculas del metano, del benceno y de la naftalina.

Rabia

La rabia es una grave enfermedad de origen vírico que casi siempre es mortal. El término *hidrofobia*, empleado a veces para designar esta enfermedad, no indica propiamente un verdadero temor al agua, sino que se aplica en relación a la dificultad para deglutir que acompaña a la aparición de la sintomatología de la rabia. Si el paciente está lúcido, se suele evitar la ingestión de agua debido al dolor que ello le produce.

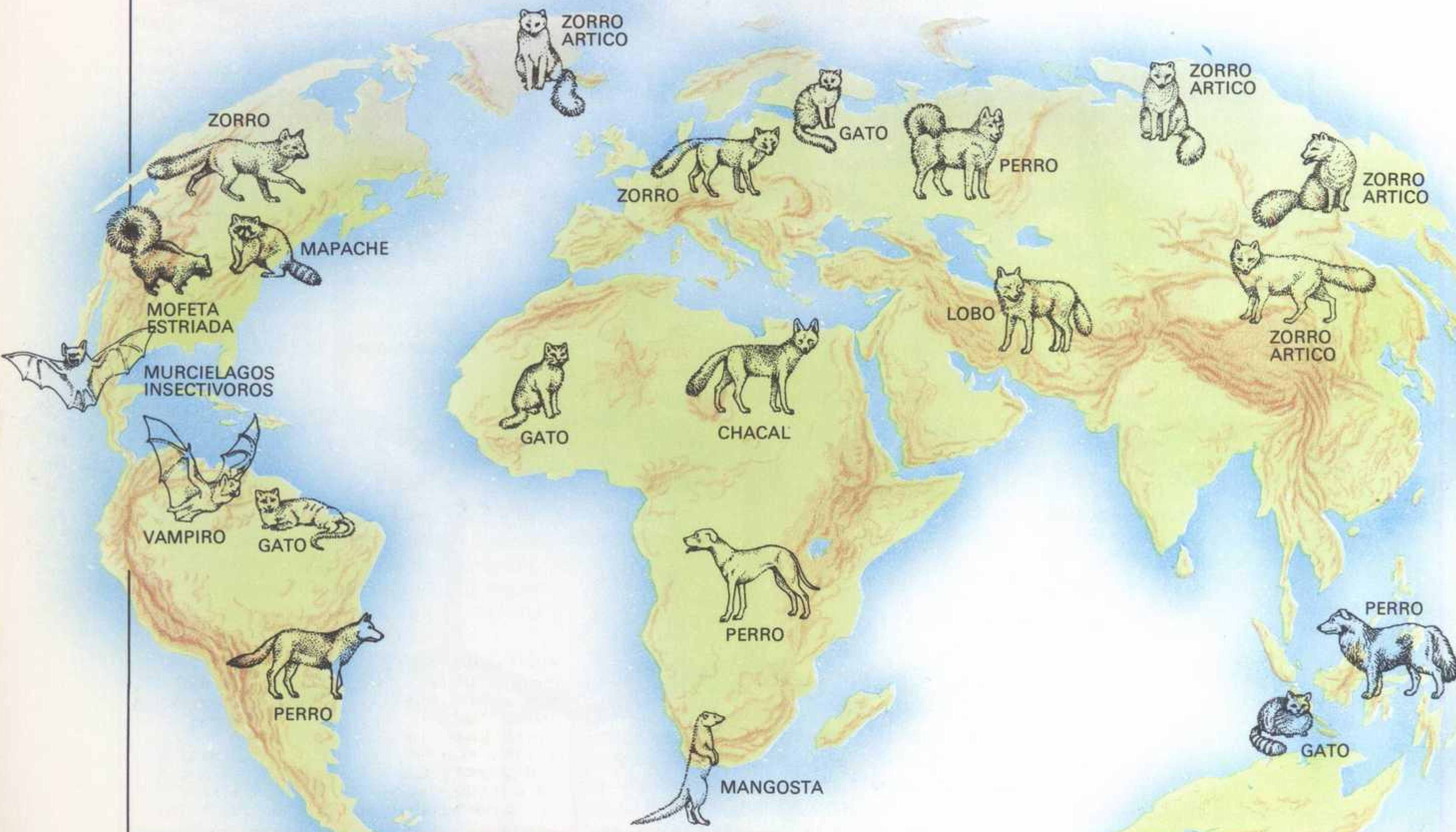
La rabia es provocada por un virus que se transmite a través de secreciones infectadas, especialmente a través de la saliva. De ahí la facilidad de la transmisión de la enfermedad por parte de los animales domésticos o, más frecuentemente, salvajes infectados cuando muerden a un ser humano. En el primer caso se habla de rabia urbana, transmitida sobre todo por los perros y, en el segundo, de rabia salvaje. Los animales considerados como principales responsables de la transmisión del virus son el zorro, la mofeta, el mapache, el murciélago vampiro, el lobo, el chacal y el zorro ártico.

Aspectos históricos La rabia es una enfermedad conocida por el hombre desde hace mucho tiempo, ya que existen referencias de ella que datan del siglo IV antes de Cristo; la denominación actual de rabia fue acuñada por los romanos, quienes la asociaban con la aparición en el cielo de Sirio, la más importante estrella de la constelación del Can Mayor, durante los días de la "canícula estival", cuando se pensaba que los perros eran particularmente susceptibles a la enfermedad. Si bien hoy día los principales responsables de la rabia son los animales salvajes —ya que los perros domésticos están, casi en su totalidad, inmunizados— también es cierto que estos últimos se han considerado tradicionalmente como los máximos responsables de la transmisión de esta enfermedad. El comportamiento de un perro rabioso es particularmente impresionante: primeramente el animal muestra miedo, tratando de esconderse y poniendo de manifiesto un comportamiento extraño, como si intentase agarrar moscas imaginarias o morder las patas de las mesas y las sillas. A continuación se desarrolla el síndrome paralizante, que puede adoptar dos formas diferentes: la furiosa, la más típica, o bien la muda. En la primera modalidad el perro intenta morder cualquier objeto en movimiento, llegándose a un momento en que la mandíbula pende de la boca, con la consiguiente pérdida de saliva, y en que aparecen parálisis y convulsiones. En la forma muda, el animal tiende a asumir una actitud letárgica.

La rabia y el hombre En el hombre, el virus de la rabia ataca el sistema nervioso central. Una vez alcanzado el tejido nervioso, el virus se multiplica casi exclusivamente en la sustancia gris y, posteriormente, a través de los fascículos nerviosos del sistema autonómico, se difunde a los tejidos periféricos, llegando a asentarse sobre todo en algunos órganos, como las glándulas salivales, las suprarrenales, los riñones y el corazón. El paso del virus a las glándulas salivales permite, entre otras cosas, la ulterior difusión de la enfermedad a través de la saliva. Esta es la fase de incubación de la enfermedad, que tiene una duración muy variable: desde diez días hasta un año, aunque en promedio el período de incubación dura entre uno y dos meses.

Tras este período comienzan a manifestarse los primeros síntomas, que consisten en una encefalitis, similar a cualquier otra forma de encefalitis viral, a la que siguen los signos clásicos de la rabia, entre los que se encuentra la ya mencionada hidrofobia. El período de supervivencia media tras el surgimiento de los síntomas varía desde cuatro a veinte días como máximo.

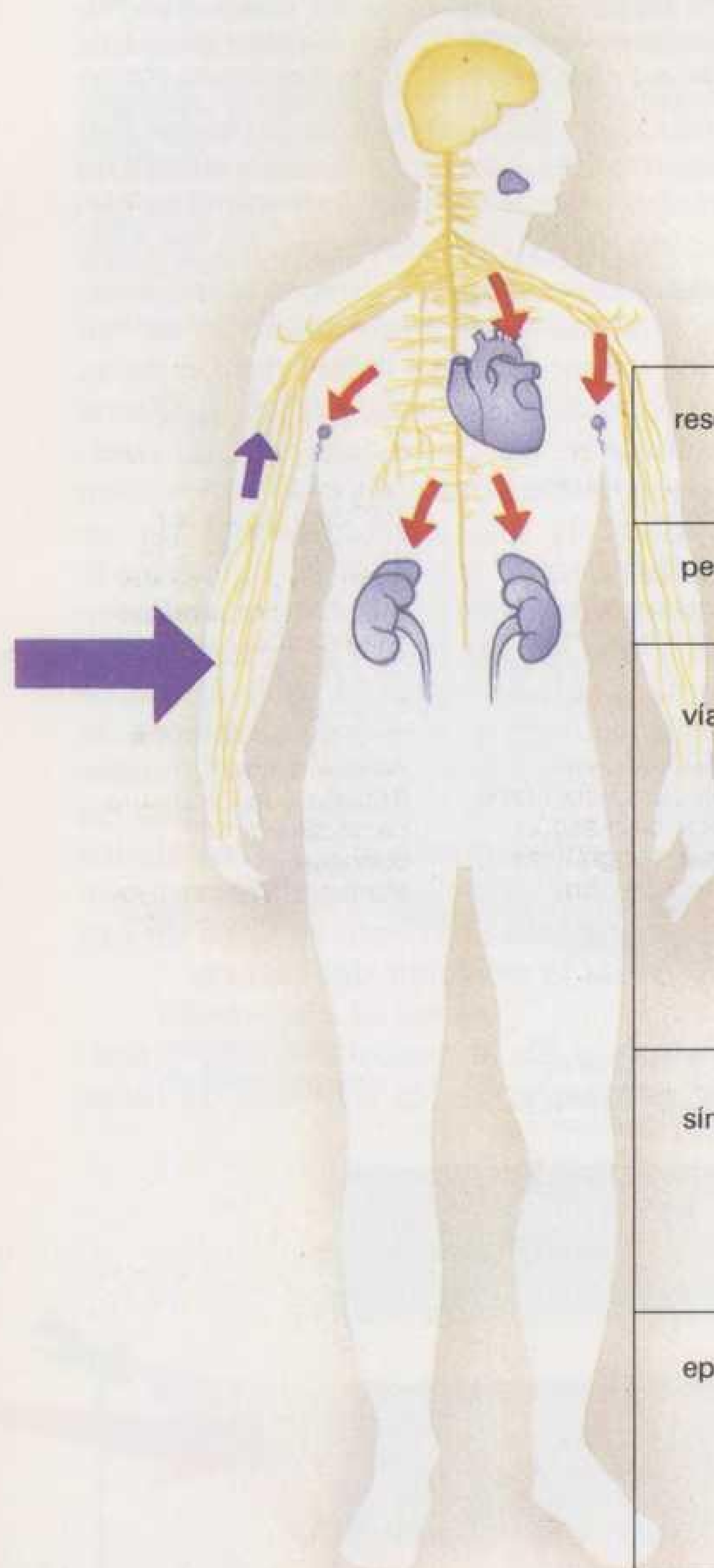
La rabia es una enfermedad viral difundida en gran parte del mundo. A pesar de que los principales portadores y responsables de la difusión de la enfermedad han sido tradicionalmente los perros, en realidad la rabia es transmitida por numerosos animales salvajes, cuya importancia como vectores varía según las áreas geográficas consideradas. En Estados Unidos, por ejemplo, el vector principal es la mofeta estriada, seguida del mapache, mientras que en Europa y en la URSS europea son el zorro, el gato y el perro. En América del Sur el vector principal es el murciélago vampiro, que succiona la sangre de las víctimas al morderlas. Australia, Gran Bretaña y la Península Escandinava no conocen, afortunadamente, esta temible enfermedad.



PROFILAXIS ANTIRRABICA				
Animal		**Tratamiento**		
Especie	**Situación en el momento de la agresión**	**Ninguna lesión**	**Lesión superficial**	**Lesión profunda**
perro o gato	sano	ninguno	ninguno	S
	con síntomas de rabia	ninguno	V	S+V
	vagabundo	ninguno	V	S+V
	rabioso	ninguno	S+V	S+V
zorro murciélago mapache coyote mofeta	se consideran rabiosos si la agresión no ha sido provocada	ninguno	S+V	S+V

S = suero
V = vacuna

En la tabla superior se enumeran los distintos procedimientos de profilaxis antirrábica actuales en relación con el vector responsable, doméstico o salvaje, y con el tipo de situación en el momento de la agresión y de la mordedura. Como puede apreciarse, con frecuencia es útil un tratamiento combinado de suero y vacuna, sobre todo en el caso de animales salvajes potencialmente rabiosos.



reserva del virus:	animal (perros, gatos, zorros, mapaches, mofetas, murciélagos, vampiros, lobos).
penetración:	a través de una herida cutánea producida por la mordedura.
vía de difusión	fibras nerviosas en dirección centrípeta. Reproducción del virus en las células de la sustancia gris cerebral. Diseminación en varios órganos y tejidos e instalación en el tejido nervioso central y periférico. Incubación desde 30 días a más de un año.
síntomas:	apatía y cansancio; manifestaciones neuromusculares, espasmos faríngeos con dolor durante la deglución, parálisis de los centros encefálicos, muerte.
epidemiología:	difusión en todo el mundo excepto en Australia y en Gran Bretaña. Modificaciones en relación con los desplazamientos de la fauna silvestre.

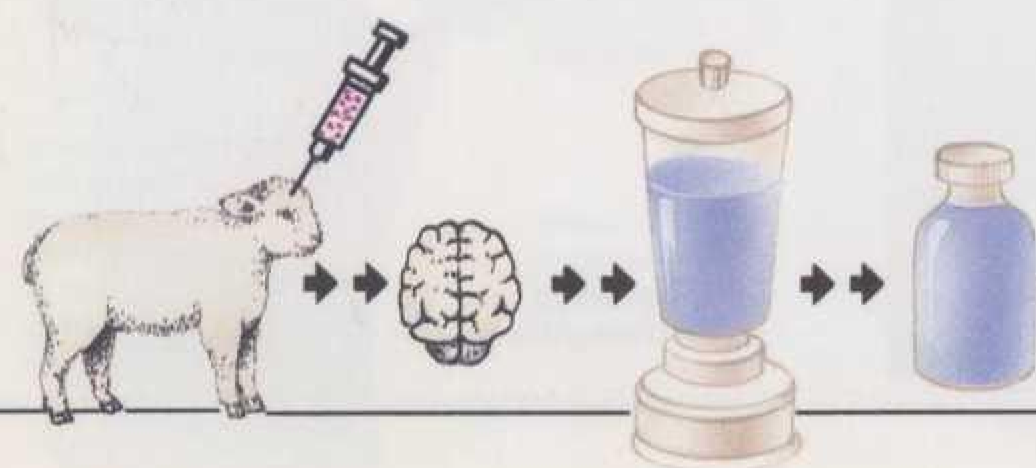
En la figura de arriba se observa el recorrido que sigue el virus en el organismo humano después de una mordedura producida por un animal infectado. Las partículas virales penetran en las terminaciones nerviosas y emigran hacia la médula espinal con una velocidad de aproximadamente tres milímetros por hora. La infección se difunde posteriormente a través de la médula espinal hasta el cerebro, donde el virus se multiplica. Por consiguiente, a través de las ramas nerviosas el virus es transferido desde las regiones periféricas al cerebro.

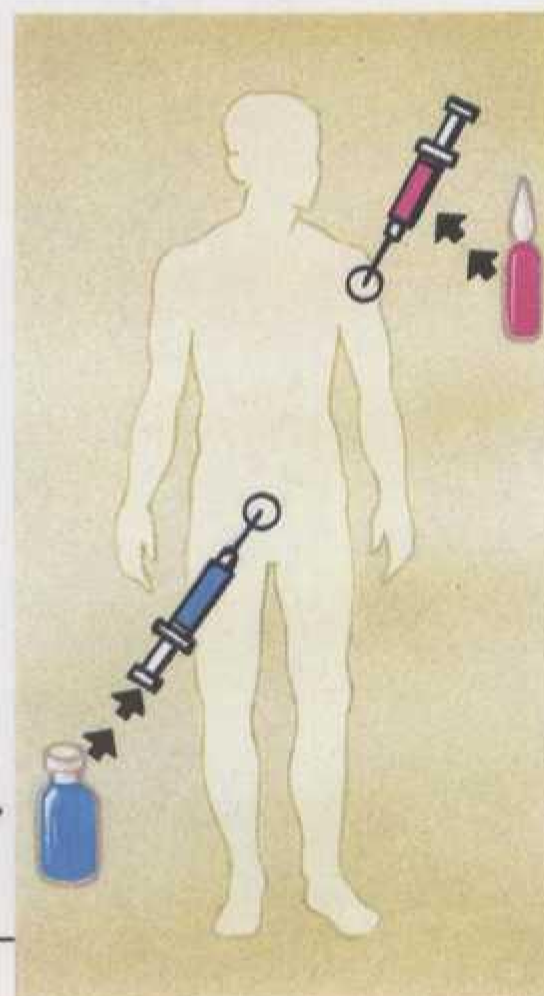
En 1881, Pasteur y sus colaboradores iniciaron las investigaciones para el descubrimiento de una vacuna contra la rabia. En 1885 tuvo lugar la primera experimentación en el hombre, concretamente en Joseph Meister, quien, a pesar de haber sido gravemente mordido por un perro rabioso, sobrevivió (posteriormente llegó a ser celador del Instituto Pasteur). Paralelamente a la terapéutica basada en la aplicación de la vacuna, que presentaba serios riesgos pues se servía de los propios virus activos de la rabia para combatir la enfermedad, se elaboró una terapéutica mediante suero, cuyos principios fundamentales serían recuperados mucho tiempo después, durante los años cincuenta, en América. Hoy en día, la terapéutica con suero constituye la más adecuada. Sin embargo, desde hace algunos años se ha desarrollado una nueva terapéutica que simplifica la actualmente en uso. En efecto, mientras que ésta precisa de un gran número de inyecciones (de 14 a 21) que, además, son muy dolorosas, la nueva terapéutica se basa en una vacuna con la que son suficientes de 4 a 6 inoculaciones.

Como es lógico, si bien la terapéutica mediante vacunación representa el mejor método farmacológico para combatir la enfermedad, actualmente se investigan los métodos necesarios para prevenirla o para delimitar su difusión.

También se dispone de vacunas eficaces para inmunizar a los animales contra la rabia, aunque naturalmente el control en un ambiente boscoso es extremadamente difícil, por razones obvias. Se han realizado intentos experimentales para la reducción de los individuos de las especies animales responsables de la rabia, pero, dejando a un lado las consideraciones ecológicas y naturalistas, los procedimientos se han mostrado demasiado difíciles y aleatorios. La única solución, por lo tanto, parece ser la actuación inmediata cuando exista incluso la más mínima sospecha de que una mordedura de animal pueda provenir de un ejemplar afectado por la enfermedad.

Véase **Vacunación; Virus**





A la izquierda, técnica convencional de vacunación según el método clásico de Pasteur. Después de infectado un animal, se le sacrifica y se le extrae el cerebro, que es posteriormente homogeneizado; se inactiva el virus y se prepara la vacuna. A la derecha, método actual: el virus es cultivado en el laboratorio y, tras su inactivación, se obtiene la vacuna que se aplica inyectando de 4 a 6 inoculaciones.

Radar

Durante los años 1940 y 1941, las poblaciones británicas, y en particular la ciudad de Londres, fueron objeto de intensos bombardeos por parte de la aviación alemana. Sin embargo, los ingleses, aun siendo inferiores a sus enemigos en cuanto a número y medios, consiguieron imponerse, fundamentalmente en el aire, gracias a la eficaz cadena de estaciones de radar que habían instalado a finales de los años treinta. Los aviones de caza británicos conseguían, de esta forma, interceptar las incursiones de los bombarderos alemanes, privándoles de la gran ventaja que les daba el contar con el factor sorpresa. La elevada perfección alcanzada por los sistemas de radar ingleses y norteamericanos constituyó una importante baza a favor de los aliados.

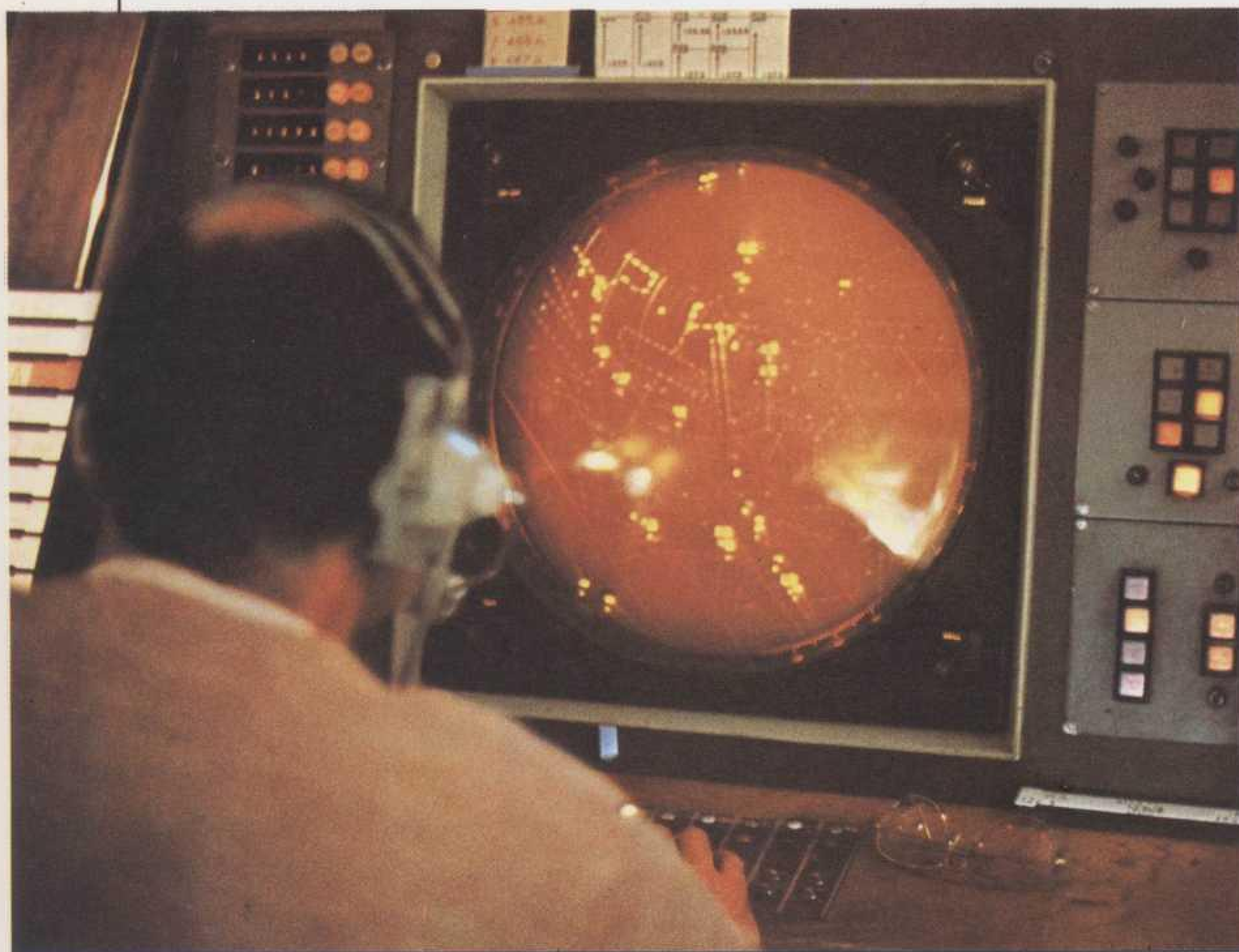
Principios de funcionamiento Cuando las ondas de radio se encuentran durante su recorrido con un objeto sólido, rebotan sobre éste, y una parte de ellas regresa al punto de partida. Un aparato típico de radar (*Radio Detection and Ranging* o *detección y medida de distancias por radio*) emite una breve señal por medio de una antena especial. Después de haber transmitido el impulso, un dispositivo, llamado *duplexor*, conmuta la antena de forma que pueda captarse su eco: el aparato mide el tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de la señal reflejada. Como las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz (recorren cerca de 300 metros en una millonésima de segundo), la distancia al objeto donde se produce la reflexión se puede obtener por la simple medida del intervalo de tiempo que emplea la señal en regresar al transmisor. Normalmente se hace que la antena gire continuamente, por lo que una instalación de radar de estas características puede barrer un arco de 360° de amplitud, es decir, un círculo completo. Naturalmente, el radar no sólo descubre un objeto desconocido, sino que también lo sigue después de haberlo localizado.

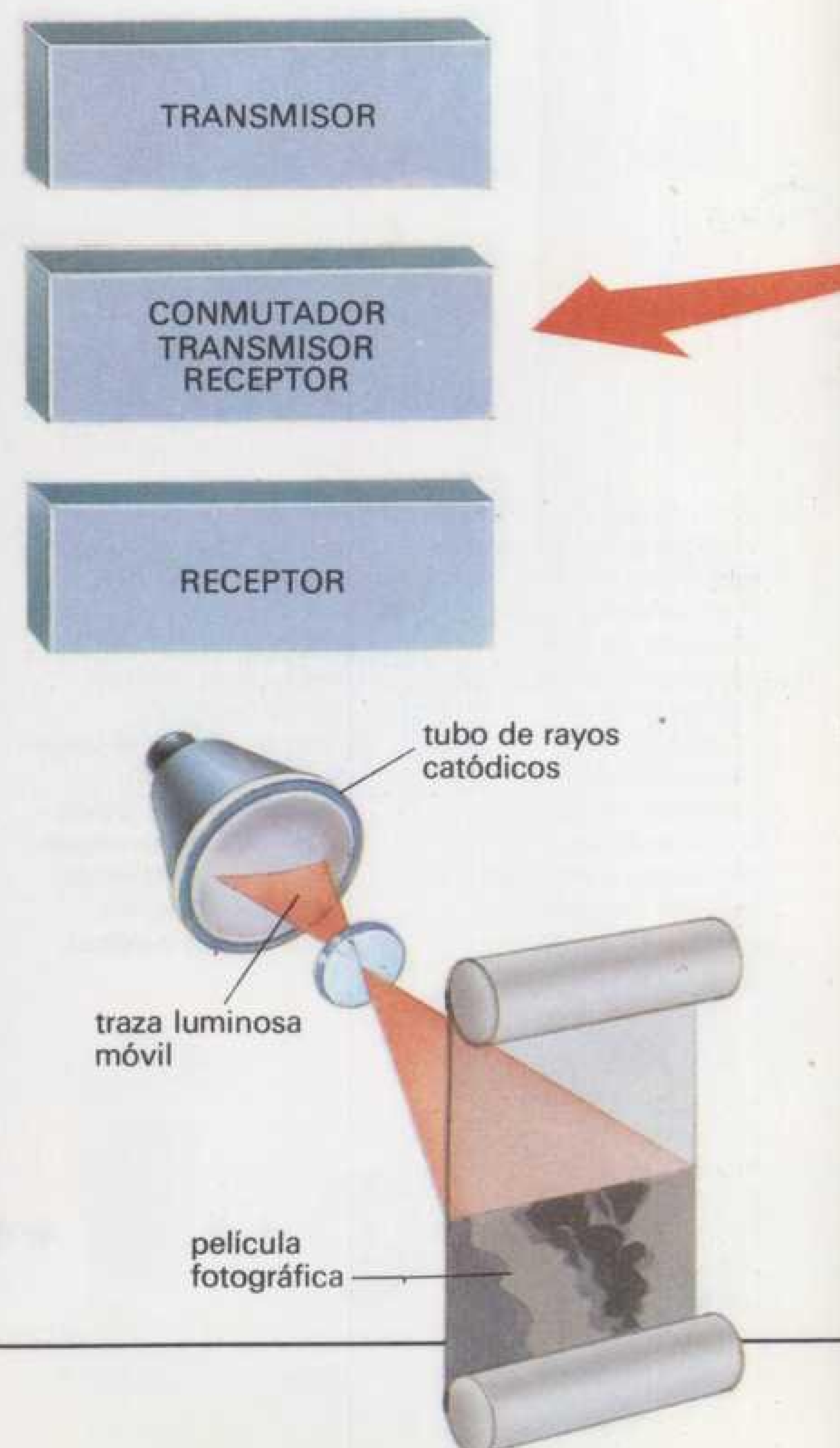
Las señales de radar, igual que las de la luz, son ondas electromagnéticas, es decir, radiaciones que se propagan según un movimiento vibratorio. El número de vibraciones por segundo se denomina *frecuencia de la onda*. Debido a que los cuerpos en movimiento alteran las características de la onda reflejada, analizando éstas cuidadosamente se puede deducir también la velocidad y la dirección del objeto interceptado. Si el objeto se está acercando al transmisor, la frecuencia del eco será mayor que la de la señal original; si, por el contrario, el objeto se aleja, la frecuencia será inferior. Cuanto mayor sea la variación de frecuencia, mayor será también la velocidad de acercamiento o alejamiento. Estas variaciones de frecuencia se conocen como "desplazamientos Doppler". Un ejemplo muy común del efecto Doppler es el silbido de la locomotora de un tren, que parece más agudo cuando el tren se acerca y más grave cuando se aleja.

Si la señal de radio del radar se transmitiera continuamente con una frecuencia constante, sería prácticamente imposible determinar el intervalo de tiempo transcurrido entre la emisión y el retorno del eco. De hecho, no se podría precisar a qué señal precisa de la emisión corresponde un determinado eco recibido. Por tanto, la señal tiene que ir acompañada de una "contraseña" que la identifique tras reflejarse: la forma tradicional —y todavía hoy la más usada— para marcar la señal consiste en transmitir impulsos cortos y separados por un intervalo de tiempo lo suficientemente largo como para permitir el retorno del eco desde cualquier punto situado dentro del límite del radio de acción del instrumento. Otro método consiste en emitir una señal que varíe de acuerdo con un esquema preestablecido, lo que permite asociar un eco con su señal original.

El sistema más utilizado para indicar los datos recibidos por el radar es el *Plan Position Indicator* (PPI), que consiste en una pequeña pantalla donde aparecen las imágenes de las señales de eco captadas por el instrumento. Con más detalle, el PPI es un mapa electrónico en una pantalla circular de televisión cuyo centro corresponde a la antena y sobre el que se representan las posiciones relativas de todos los objetos que se hallan dentro de su radio de acción. En cada giro de la antena se actualizan las posiciones de los cuerpos detectados (algunas pantallas pueden reproducir la imagen aumentada de un pequeño sector de interés, accionando simplemente un interruptor). Naturalmente, no todos los aparatos de radar necesitan una pantalla como la anteriormente descrita: existen, por ejemplo, radares de control de tiro, que envían directamente su información a los sistemas de guía de las armas defensivas, como los instalados en las unidades de misiles antiaéreos, que corrigen automáticamente su línea de tiro según varía la posición del blanco.

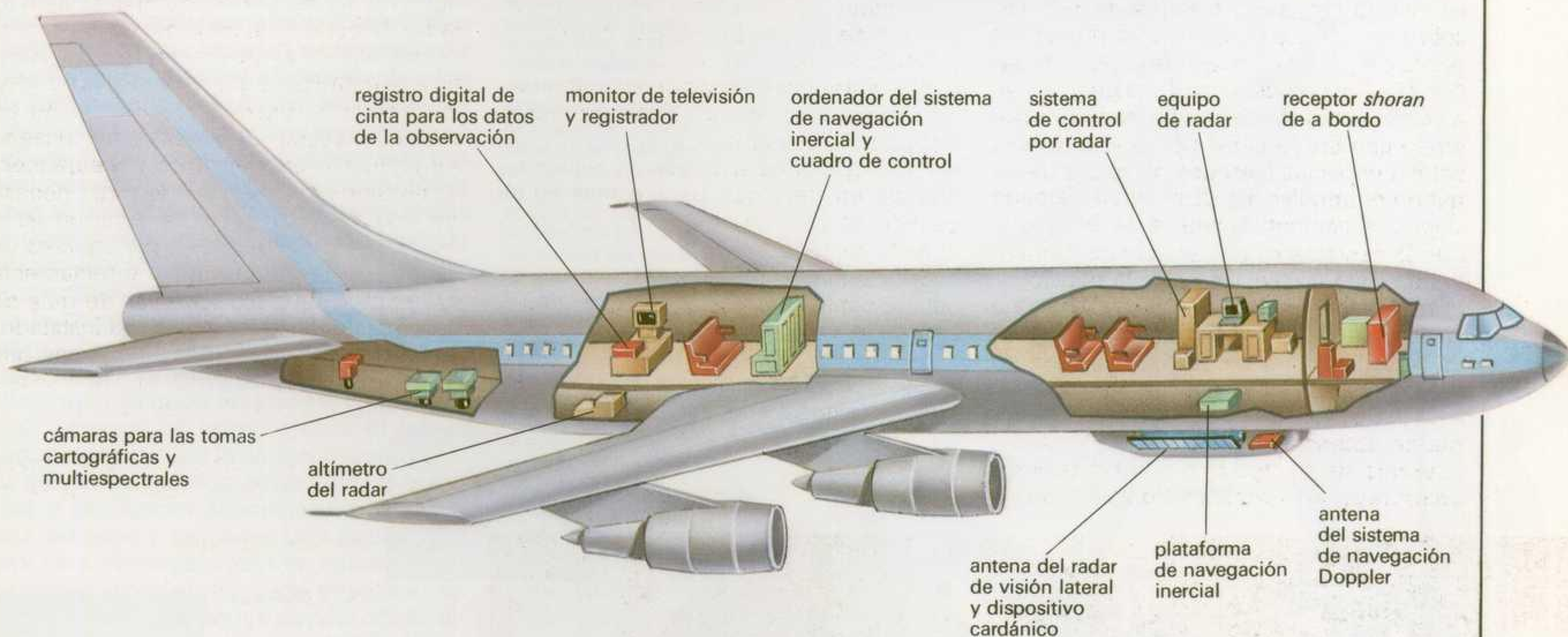
Historia En el descubrimiento y posterior evolución de los sistemas de radar

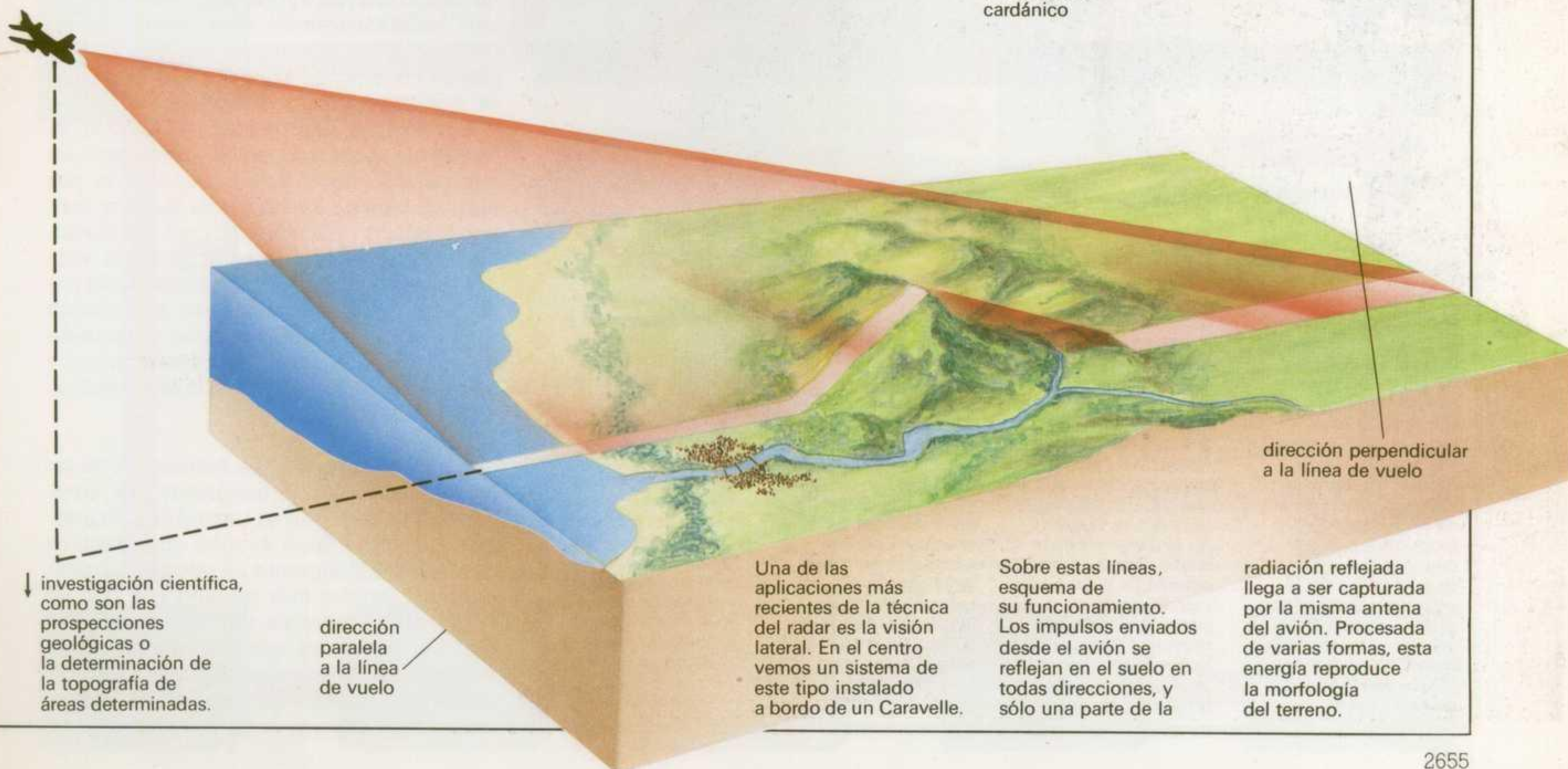




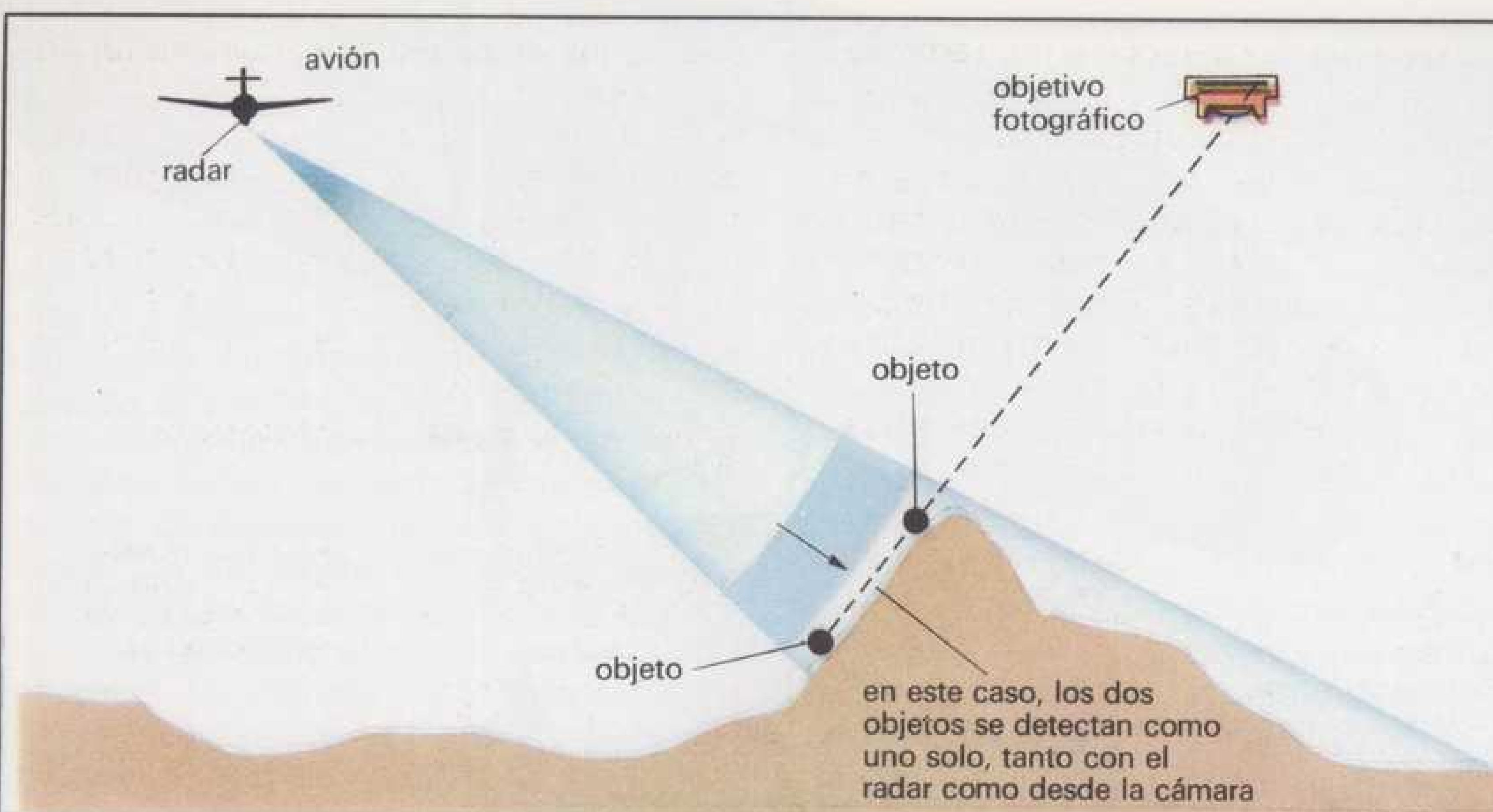
A la derecha se muestra una clásica antena receptora de radar para detecciones de gran precisión direccional pero de poca altura, como las que suelen utilizarse para la localización naval y, a veces, aérea. Cuanto mayor sea el tamaño de la antena, más precisa será la información sobre la dirección de la señal emitida. La señal reflejada se representa en una pantalla circular de radar, dotada de referencias angulares. El operador sigue sobre la pantalla el desplazamiento de un rayo luminoso radial que barre el área comprendida en un ángulo de 360° alrededor de la antena, siguiendo el giro de de esta última. Cuando el radar encuentra un obstáculo, éste aparece representado en la pantalla por una señal luminosa, tanto más cerca del centro de la pantalla cuanto más cerca esté el objeto de la antena. El radar se encuentra actualmente muy perfeccionado, gracias al desarrollo de la tecnología electrónica y gracias también a la introducción de ordenadores, capaces de procesar, con una rapidez y precisión altísimas, la señal de eco recibida. El radar no se utiliza sólo para operaciones de vigilancia, sino también en diversos campos de la investigación científica, como son las prospecciones geológicas o la determinación de la topografía de áreas determinadas.

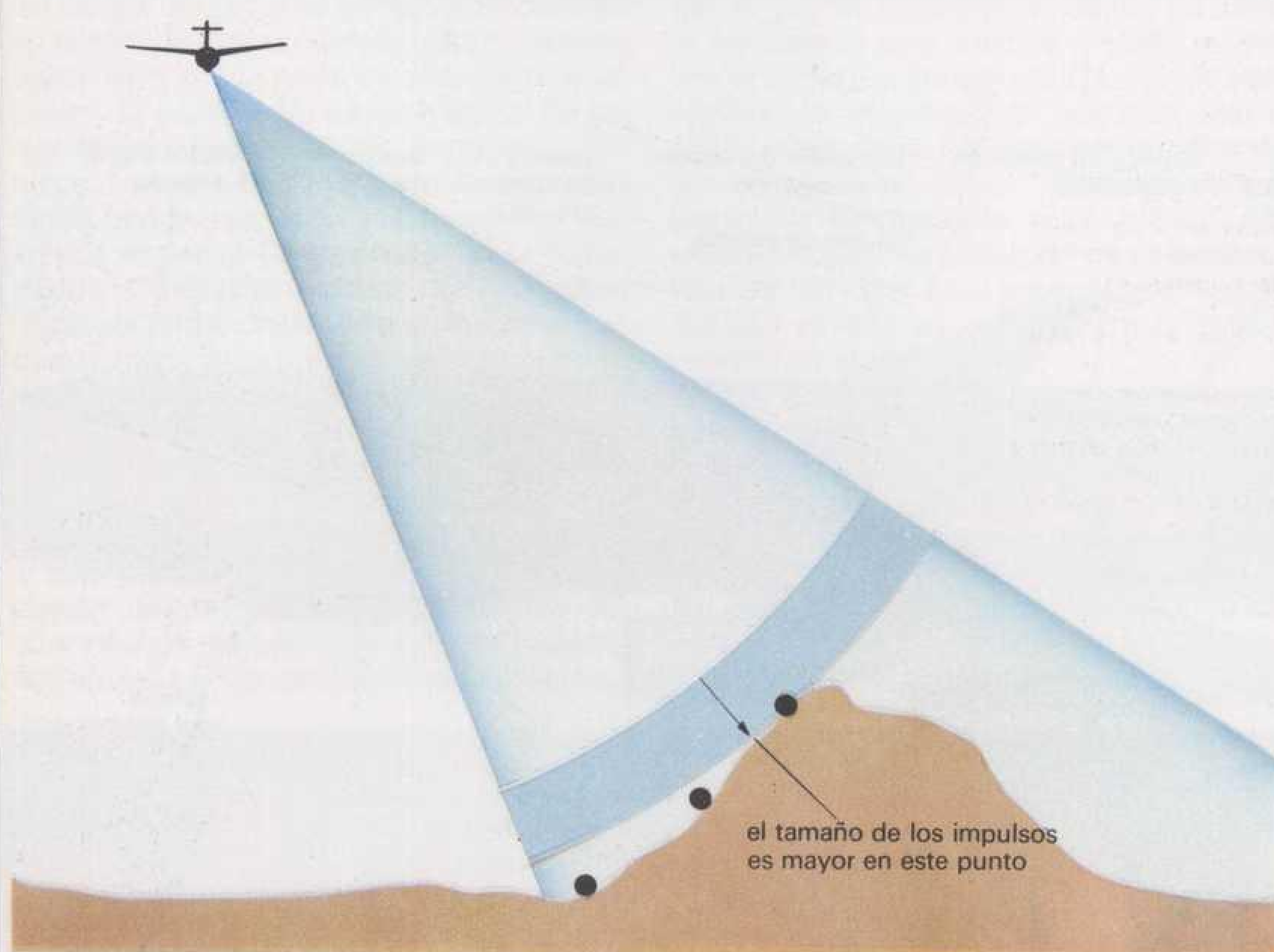


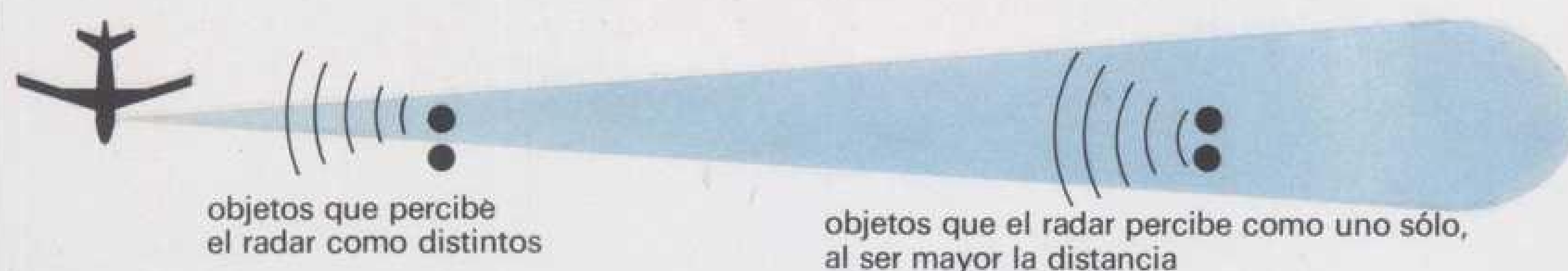




Una de las aplicaciones más recientes de la técnica del radar es la visión lateral. En el centro vemos un sistema de este tipo instalado a bordo de un Caravelle. Sobre estas líneas, esquema de su funcionamiento. Los impulsos enviados desde el avión se reflejan en el suelo en todas direcciones, y sólo una parte de la radiación reflejada llega a ser capturada por la misma antena del avión. Procesada de varias formas, esta energía reproduce la morfología del terreno.







Existe una diferencia fundamental entre las imágenes tomadas fotográficamente y las obtenidas a través de una señal de radar: dos objetos cuya distancia sea inferior a la anchura del haz reciben y transmiten los impulsos de radar en el mismo instante, produciendo así un mismo eco y una imagen única. En el caso de la fotografía (arriba), dos objetos coinciden, es decir, se registran como uno sólo, solamente si tienen la misma distancia angular desde el objetivo, o, lo que es lo mismo, si están alineados con respecto a éste. La perspectiva del radar es, por tanto, análoga a la de una máquina fotográfica colocada de forma que la recta que une los dos objetos pase por su objetivo. En el dibujo de en medio vemos cómo un sistema de radar puede reproducir en su pantalla el relieve de objetos voluminosos como pueden ser las montañas. Esta propiedad se basa en el hecho de que los distintos niveles de una montaña se encuentran, respectivamente, a distintas distancias de la antena, de forma que las señales reflejadas emplearán un tiempo de regreso distinto para cada nivel. Así, por ejemplo, el eco del haz de ondas que se refleja en la cima será captado antes que el que se refleja en la base de la montaña, ya que esta última está más alejada. Igualmente, dos objetos que están situados cerca de la antena emisora se podrán apreciar en la pantalla como objetos distintos, mientras que si se encuentran a una distancia mayor se verán como un objeto único; algo similar sucede también en la visión del ojo humano. Esto constituye un límite para las prestaciones de los radares montados en aviones, ya que, además, la longitud máxima de la antena no puede superar un cierto valor.

han intervenido muchas personas e instituciones. Ha sido un largo proceso en el que resulta difícil destacar a alguien a quien se le pueda atribuir el mérito exclusivo de su puesta en marcha. Ya en el siglo pasado, los científicos sospechaban la existencia de ondas electromagnéticas y se comenzaba a perfilar la posibilidad de establecer técnicas para captar su reflexión, de la misma forma, más o menos, con que nuestro ojo percibe los objetos al recibir la luz visible que se refleja sobre ellos. Los primeros radares se construyeron durante los años 1904 y 1920, pero solamente funcionaban si el objeto pasaba a través del haz de ondas que emitían; por otra parte, no eran capaces aún de determinar la distancia o la dirección de desplazamiento del objeto.

Después de la II Guerra Mundial, la adopción como arma estratégica de los misiles balísticos intercontinentales (ICBM) —varias veces más rápidos que el más veloz avión a reacción— constituyó un nuevo reto para los sistemas de alarma y de detección terrestre. Con el fin de actualizar los sistemas de defensa con el nuevo tipo de armas ofensivas, los gobiernos más comprometidos, como los de Estados Unidos y la Unión Soviética, destinaron nuevos fondos para estimular y perfeccionar la investigación en este campo.

Se aumentaron las dimensiones de las antenas y la potencia de los transmisores, con lo que se consiguió aumentar el alcance de los radares hasta una distancia de 4.800 Km, lo que equivale a poder detectar la presencia de un misil intercontinental 15 minutos antes del impacto. Tanto la precisión como el radio de acción del radar se mejoraron notablemente con la utilización de aparatos receptores y amplificadores más sensibles y potentes. Los ordenadores se han convertido a su vez en una parte esencial de estos sistemas: en efecto, con su ayuda se puede analizar, casi instatáneamente, el recorrido de un misil, de forma que en pocos segundos se puede conocer su objetivo y el momento en que tendrá lugar el impacto.

Durante la II Guerra Mundial, todo lo referente al radar era considerado como un alto secreto de estado. La época de paz abrió el camino a esta nueva técnica, consiguiéndose aplicaciones, casi revolucionarias, en numerosos campos de la vida civil, como pueden ser los sistemas de navegación y los sistemas de anticolisión para aviones y barcos. El radar es también ampliamente utilizado en meteorología y en otros diversos campos de la investigación científica.

Ultimos avances La sustitución de las clásicas válvulas termoiónicas por componentes electrónicos transistorizados supuso un importante avance en la técnica del radar: actualmente se pueden fabricar aparatos mucho más pequeños y con un consumo de energía eléctrica muy inferior. De hecho, los soldados de infantería son equipados con aparatos de radar portátiles que pueden detectar el movimien-

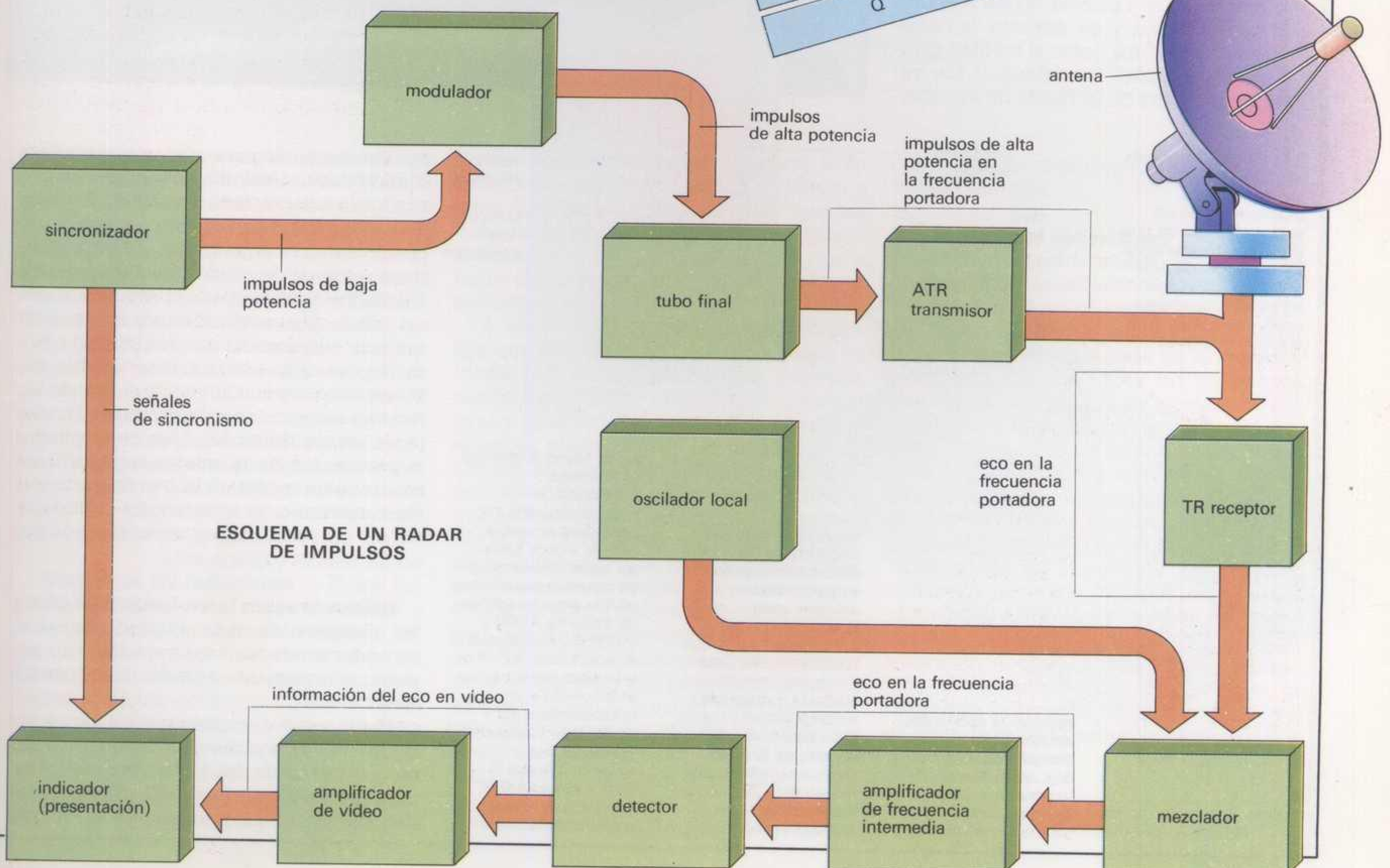
to de carros armados dentro de un radio de 5 km, y aparatos aún más pequeños se pueden colocar en los cascos de los soldados para descubrir la presencia de posibles tropas enemigas a distancia de hasta cien metros. En ambos casos los operadores reciben la alarma, debida a la presencia de enemigos, mediante señales acústicas.

La utilización de ordenadores ha mejorado la precisión, el alcance y el poder de resolución del radar de microondas. Esto se ha conseguido controlando la calidad de las señales transmitidas y mejorando las técnicas de detección y procesamiento del eco recibido. Sin embargo, el radar de microondas no es capaz, ni siquiera lejanamente, de alcanzar el poder de resolución —es decir, la capacidad de distinguir objetos pequeños— que posee el radar de láser, también llamado LIDAR. Así por ejemplo, la característica y clásica antena giratoria resulta ahora, en la era de los cohetes, lenta e ineficaz. Se ha inventado el radar de secuencia ordenada *(phased array radar)*. Este sistema se basa en la utilización de centenares, e incluso miles, de lentes dieléctricas que permiten un giro del haz mucho más rápido que el que se conseguiría con cualquier antena mecánica, de forma que el aparato transmite y recibe con una secuencia muy rápida. Un sistema de este tipo sería inimaginable sin la presencia de un ordenador que controlase cada ciclo de transmisión-recepción e interpretara las señales. La integración, cada vez mayor, de ordenadores en los sistemas de detección por radar ha incrementado también las posibilidades del PPI. Actualmente, junto a la imagen visual del objeto detectado, que aparece en la pantalla, se pueden representar también su distancia y su velocidad. La renovación de los sistemas de control de tráfico aéreo que se está produciendo en Estados Unidos durante la presente década está basada, precisamente, en todas estas innovaciones. La exposición y la rigurosidad de los datos relacionados con un objeto determinado mejoran la precisión y la fiabilidad de todo el sistema, reduciendo, notablemente, aquellas tareas que dependen de la memoria humana, así como los sistemas mecánicos. Además, se reducen los costes de personal, ya que se necesita la intervención de un número menor de controladores aéreos.

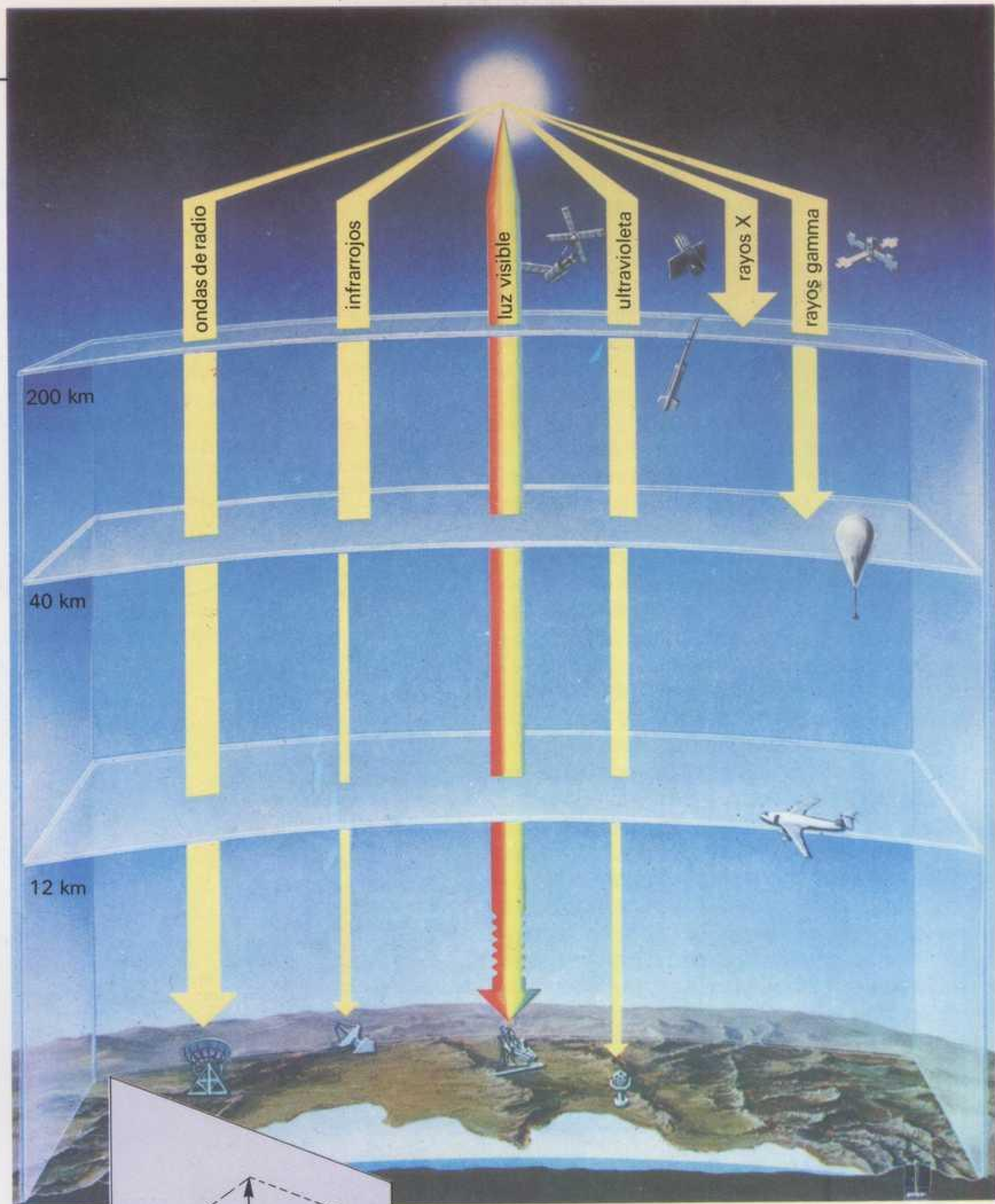
Véase **Aviación militar; LIDAR (Láser de impulsos); Sonar**

El diagrama inferior muestra, esquemáticamente, los elementos que componen un radar de impulsos. A partir de un sincronizador se generan señales de sincronismo e impulsos de baja potencia que, tras pasar por el modulador, se transforman en los impulsos de alta potencia que llegan al tubo final. El eco recibido desde el objeto llega a la antena y se mezcla (en el mezclador) con la señal de un oscilador del sistema. La señal así obtenida se amplifica y llega a un detector que envía las señales del eco a un *display* para su posterior presentación en la pantalla, después de la oportuna amplificación de vídeo. Para el envío de la señal y la recepción del eco se utliza la misma antena. Un duplexor, o dispositivo de conmutación, desconecta el receptor de la antena durante la transmisión, e, inversamente, desconecta el transmisor durante el intervalo de recepción, es decir, entre la transmisión de un impulso y la del siguiente. Como se puede ver en la tabla de aquí al lado, existen diversas bandas de frecuencia de radar, cada una de las cuales se identifica con un código de letras.

BANDA	FRECUENCIA CENTRAL (MHz)	LONGITUD DE ONDA (cm)
P	300	100
L	900	33,33
S	3.000	10
C	5.000	6
X	10.000	3
K	20.000	1,5
Q	40.000	0,75



Radiación



La radiación es, simplemente, una forma de propagación de la energía en el espacio. Tanto la luz como el calor, como las emisiones radiactivas son formas de radiación. Aunque comúnmente cuando se habla de radiación se sobreentiende la radiación de tipo electromagnético, en su sentido amplio, el término incluye también la emisión de partículas energéticas y, por extensión, cabe incluir las ondas sonoras y ultrasónicas también portadoras de energía, si bien son de naturaleza diferente y necesitan de un medio material para su generación y propagación.

Dualidad onda-corpúsculo El estudio de la radiación electromagnética y de las leyes que rigen su interacción con la materia (fenómenos de absorción y de emisión) constituyó, durante los últimos siglos, un auténtico reto para la Física. El comportamiento, aparentemente contradictorio, de la radiación en el campo experimental condujo al establecimiento de dos corrientes de opinión enfrentadas dentro de la comunidad científica: por un lado, los partidarios de la naturaleza ondulatoria de la radiación, y, por otro, aquellos que insistían en que ésta tenía un carácter corpuscular. En efecto, mientras que los fenómenos de interferencia y difracción sólo podían explicarse bajo la hipótesis de que la energía radiante se propagaba con un movimiento ondulatorio, en su interacción con la materia (efectos fotoeléctrico y Compton), la radiación se comportaba como si estuviese formada por corpúsculos. También en los fenómenos de absorción y de emisión, la radiación se comportaba como si tuviese naturaleza corpuscular. La dificultad fue resuelta por medio de la *Teoría de los cuantos*, desarrollada por el físico alemán Max Planck hacia 1900. Planck sugirió que la energía radiante tenía carácter discontinuo y era emitida tan sólo en pequeñas porciones de magnitud definida, los cuantos o fotones, de modo que $E = h\nu$, donde E es la energía, h es una constante universal y ν, la frecuencia. De esta forma, toda emisión corpuscular de energía lleva asociada una onda de una determinada frecuencia, es decir, las propiedades de los fotones en grandes cantidades son similares a las de las ondas. Llegamos, pues, a la conclusión de que la energía radiante presenta un carácter dual, el de onda y el de corpúsculo, aunque, según de Broglie, nunca presenta ambos aspectos a la vez en un mismo experimento.

componente vertical
vector eléctrico
rayo luminoso
componente horizontal

A la derecha, esquema de movimiento oscilatorio y de propagación de un vector eléctrico en una onda electromagnética. El esquema vale para ondas de luz visible, infrarroja, ultravioleta, radio, rayos X y gamma. Se puede apreciar la oscilación sinusoidal descompuesta en dos oscilaciones, una vertical y otra horizontal. Se trata solamente de la variación del vector eléctrico: la oscilación del vector magnético es perpendicular a la anterior, pero formando siempre un ángulo de 90° con respecto a ella. Esta oscilación simultánea eléctrica y magnética, propagándose a través del espacio, es lo que constituye la onda electromagnética. Las radiaciones que nos llegan de los cuerpos celestes son de varios tipos: rayos X, gamma, ultravioleta, infrarrojos, microondas, etc. La atmósfera es opaca para la mayor parte de estas radiaciones, ya que deja pasar la luz visible entre longitudes de onda de 4.000 y 7.000 Å (un Ångström, Å, equivale a 10^{-10} m) y bandas estrechas en el infrarrojo y en el ultravioleta. En la tabla de la página siguiente, las características y la forma de generarse las distintas ondas electromagnéticas.

Influencia sobre la evolución biológica y los sistemas de vida Indudablemente, las radiaciones han desempeñado un papel muy importante en la evolución de los seres vivos.

Hace miles de millones de años, cuando la Tierra se estaba enfriando, la radiación ultravioleta, las radiaciones electromagnéticas de alta energía y las emisiones alfa y beta proporcionaron la energía

CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL ESPECTRO DE RADIACION ELECTROMAGNETICA					
Longitud de onda	**Frecuencia**	**Denominación**	**Fuente**	**Detector**	**Aplicaciones principales**
superior a 10.000 km	inferior a 30 Hz	ondas de frecuencias acústica e industrial para telefonía	dispositivos eléctricos y electrónicos	dispositivos eléctricos y electrónicos	industriales, telefonía directa
1.000 km	300 Hz				
100 km	3 kHz	ondas miriamétricas, VLF (muy baja frecuencia)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores	dispositivos electrónicos con tubos de vacío, transistores	calentamiento por inducción, radionavegación
10 km	30 kHz	ondas kilométricas, LF (baja frecuencia)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores	dispositivos electrónicos con tubos de vacío, transistores	radiodifusión (onda larga) radionavegación
1 km	300 kHz	ondas hectométricas, MF (frecuencia media)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores	dispositivos electrónicos con tubos de vacío, transistores	radiodifusión (onda media), modulación de amplitud
100 m	3 MHz	ondas decamétricas, HF (alta frecuencia)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores	dispositivos electrónicos con tubos de vacío, transistores	radiodifusión (onda corta), modulación de frecuencia
10 m	30 MHz	ondas métricas, VHF (frecuencia muy alta)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores	dispositivos electrónicos con tubos de vacío, transistores	radiodifusión, televisión, modulación de frecuencia
1 m	300 MHz	microondas: ondas decimétricas UHF (frecuencia ultra alta)	osciladores electrónicos con tubos de vacío o transistores, hidrógeno interestelar	dispositivos electrónicos, bolómetros	televisión, sistemas de radar (banda L)
10 cm	3 GHz				
1 cm	30 GHz	microondas: ondas centimétricas, SHF (frecuencia super alta)	osciladores electrónicos con klystrón, magnetrón, tubos de onda progresiva	dispositivos electrónicos, bolómetros	sistemas de radar (bandas S, C, X, K) máser
1 mm	300 GHz	microondas: ondas milimétricas EHF (frecuencia extremadamente alta)	osciladores electrónicos con klystrón, magnetrón, tubos de onda progresiva	dispositivos electrónicos, bolómetros	máseres experimentales
100 μ	3.000 GHz	radiación infrarroja	cuerpos calientes, moléculas	bolómetros, conversores de imagen y otros dispositivos basados en efectos de calentamiento	calentamiento, láser, fotografía de infrarrojos
10 μ	3×10^{13} Hz				
1 μ	3×10^{14} Hz	radiación visible	cuerpos muy calientes, átomos, moléculas	ojo, espectrómetro, fotografía, fotocélulas, fotomultiplicadores	átomos en descargas y en arcos voltaicos
100 nm	3×10^{15} Hz	radiación ultravioleta	átomos en descarga y arcos voltaicos	fotografía, fotocélulas, fotomultiplicadores	análisis químico, fotografía en ultravioleta
10 nm	3×10^{16} Hz				
1 nm	3×10^{17} Hz				
100 pm	3×10^{18} Hz	rayos X	átomos en descargas, bombardeo electrónico de sólidos, órbitas internas del átomo, aniquilación electrón-positrón	fotografía y otros sistemas basados en la ionización	radioscopia y radioterapia médicas, gammagrafía industrial
10 pm	3×10^{19} Hz				
1 pm	3×10^{20} Hz	rayos gamma	núcleos radiactivos	dispositivos basados en la ionización	terapia, gammascopia, radioisótopos
0,1 pm	3×10^{21} Hz				
0,01 pm	3×10^{22} Hz	rayos gamma de la radiación cósmica	cuerpos celestes y material interestelar	dispositivos basados en la ionización	
0,001 pm	3×10^{23} Hz				

necesaria para que reaccionaran entre sí algunas sustancias simples, como el hidrógeno, el amoniaco, el nitrógeno, etc. Estas formaron, a su vez, sustancias más complejas, como los hidrocarburos, alcoholes y aminoácidos. La interacción entre estas sustancias fue probablemente lo que dio origen a las primeras formas de vida.

La acción de las radiaciones electromagnéticas es fundamental para que se mantenga la vida en nuestro planeta. El proceso de fotosíntesis, por ejemplo, a través del cual las plantas utilizan la energía solar para la síntesis de hidratos de carbono, constituye la fuente primaria de los productos alimentarios que se consumen habitualmente en la Tierra.

Efectos de las radiaciones El ser humano está sometido incesantemente a todo un cúmulo de radiaciones que le llegan simultáneamente desde el exterior. Convivimos con ellas, aunque sólo percibimos por los sentidos una pequeña parte, como las visuales, las ondas térmicas de un cierto nivel y las ondas sonoras.

La causa física inicial por la que las radiaciones pueden producir efectos, tanto en la materia inerte como en el tejido biológico, es la transferencia de parte o de toda su energía a la sustancia expuesta a ellas. En general, puede decirse que las radiaciones no provocan efectos agudos e inmediatos en el organismo más que a partir de unas ciertas dosis y unas intensidades altas.

A efectos de su manejo y protección, hay que distinguir entre las *radiaciones no ionizantes*, menos energéticas (campos electromagnéticos, microondas, ultravioletas y ultrasonidos), y las radiaciones que arrancan electrones de las órbitas atómicas de las sustancias sobre las que inciden, creando iones con carga eléctrica, y que se denominan, *radiaciones ionizantes*, como los rayos X, las emisiones de partículas nucleares y la radiactividad. Estas, por su acción potencial sobre los cromosomas celulares, deben tenerse en cuenta para evitar sus posibles efectos genéticos.

A través de un conocimiento profundo de la naturaleza y del comportamiento de las radiaciones, el hombre ha sabido también aprovechar sus efectos beneficiosos directos o indirectos sobre el organismo (exposición controlada a la radiación solar, rayos X, irradiación de tumores , etc...) y desarrollar un sin fin de usos y aplicaciones en casi todos los campos de las actividad humana.

Sus múltiples aplicaciones No podría concebirse nuestro mundo actual sin la existencia de las radiaciones, ni en un sentido natural ni en el sentido tecnológico del desarrollo de las civilizaciones: las radiaciones están en la base de la observación física de casi todos los fenómenos que conocemos, desde las técnicas de observación con el microscopio electrónico y la investigación de la naturaleza íntima de la materia con los aceleradores de partículas, hasta la interpretación y evolución del Universo a gran escala mediante los gigantescos radares y telescopios.

Sin entrar en la lista de aplicaciones concretas, que sería interminable, pueden recordarse como campos y técnicas principales de aplicación el radar, la radio, la televisión, el cine, la fotografía, la iluminación, la calefacción, los radioisótopos, la diagnosis, la terapia, las comunicaciones, el láser, la investigación, la energética y un largo etcétera.

Véase **Fenómenos ondulatorios; Infrarrojos, rayos; Radiactividad; Rayos X; Ultravioleta, radiación**

Radiactividad

En el año 1896, Antoine Henri Becquerel se dejó olvidadas unas placas fotográficas al lado de una pequeña cantidad de uranio que estaba utilizando en sus experimentos sobre la naturaleza de la fluorescencia. Al revelar las placas, descubrió que se habían ennegrecido como si hubieran estado expuestas a la luz, aunque ésto no había sucedido. De este suceso extrajo la conclusión de que el uranio tenía que emitir algún tipo de radiación —aproximadamente igual que el Sol, que emite radiaciones energéticas en forma de luz visible— suficientemente fuerte como para impresionar las placas fotográficas. Este tipo de radiación, que emiten el uranio y otras fuentes análogas, se conoce como *radiactividad*.

Estructura del núcleo atómico Para entender lo que sucede en los materiales radiactivos es necesario recordar la estructura básica del átomo, que está formado por un núcleo central con carga positiva, debida a los protones, y por un número igual de electrones, dotados de carga eléctrica negativa, que rodean el núcleo, de forma que el átomo, en su conjunto, resulta eléctricamente neutro. En el núcleo existe, además, un determinado número de neutrones, sin carga eléctrica, que contribuyen a la estabilidad del núcleo y le aportan una cierta masa. En un núcleo típico, el número de neutrones suele ser del orden de 1,0 a 1,5 veces el número de protones. Los átomos de un elemento químico, que vienen caracterizados por un número igual de protones, pueden tener distintas cantidades de neutrones, que dan lugar a diferentes estructuras másicas y de estabilidad energética. Estos elementos se diferencian entre sí por el número másico (debido al diferente número de neutrones) y se llaman *isótopos* del elemento correspondiente.

Siendo el núcleo atómico un delicado equilibrio de fuerzas y partículas, sólo unas pocas configuraciones neutrónicas de cada elemento resultan ser energéticamente estables (dos para el hidrógeno, elemento 1, de los tres isótopos que de él se conocen; cuatro isótopos estables para el hierro, elemento 26, de los once que se conocen; siete, de entre 29, en el caso máximo del mercurio; y ningún isótopo estable a partir del elemento 84, polonio, en adelante). Otras configuraciones, aunque posibles, son inestables, y los núcleos, en su reajuste energético, emiten la energía excedente para alcanzar una estructura estable en forma de partículas, de adición o de ambas cosas; esta transformación nuclear constituye el fenómeno de la desintegración radiactiva, por el que ciertos elementos se transmutan en otros como si se tratase de una precisa alquimia.

Los isótopos inestables que experimentan esta desintegración se denominan *isótopos radiactivos* o *radioisótopos*.

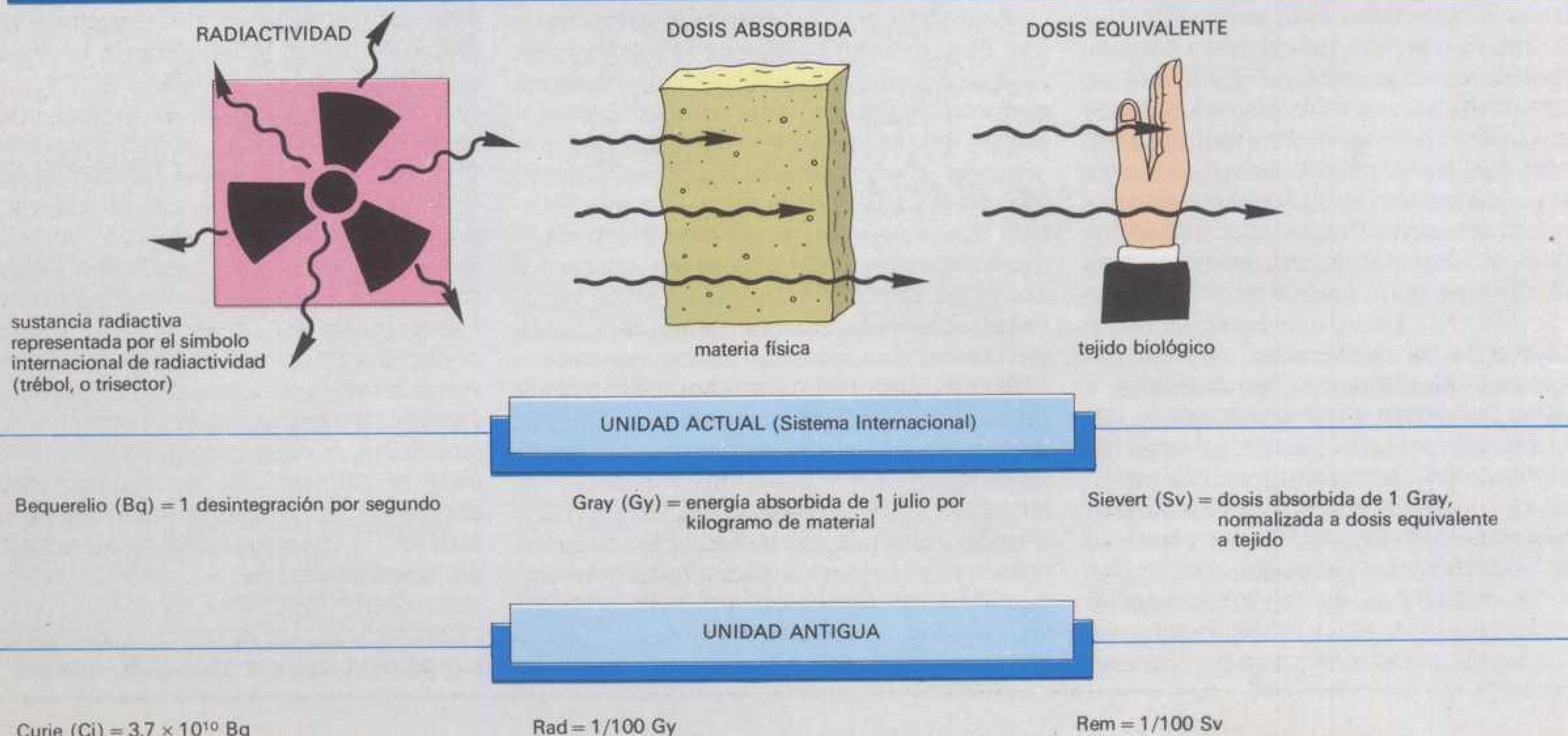
Desintegración radiactiva El proceso de la transmutación nuclear con emisión de uno o varios tipos de radiación o partículas, que en algunos casos se produce en una fracción de segundo mientras que en otros puede tardar cientos de miles de años, supone un reajuste interno de la energía y de la configuración de partículas del núcleo que casi siempre afecta al número de protones del mismo. Por ello, cuando se desintegra un átomo radiactivo, pasa automáticamente a constituir un isótopo del elemento correspondiente al número de protones resultante de la transformación, al cual se denomina "hijo" del inicial.

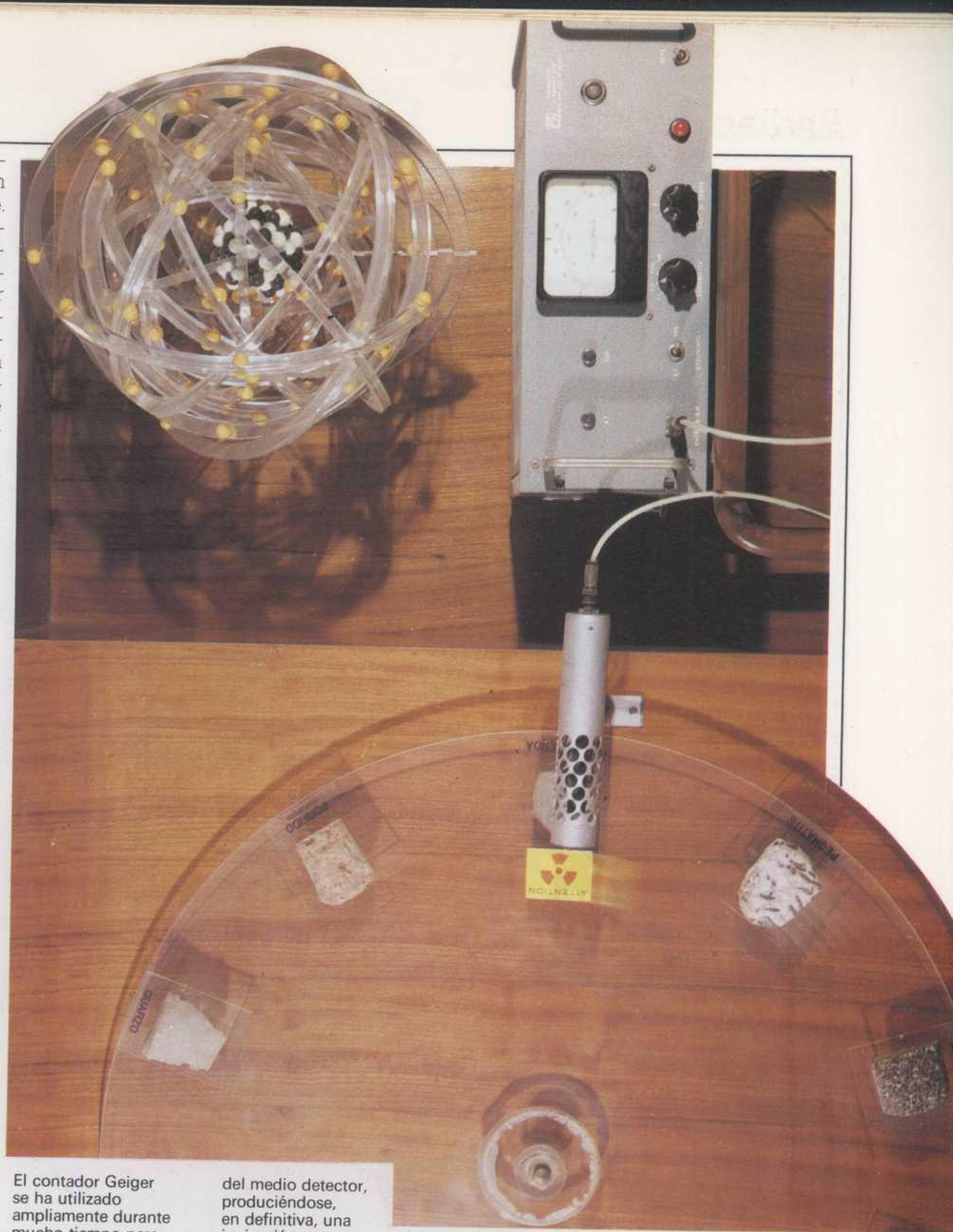
También puede suceder, como en el caso de átomos fuertemente cargados de neutrones, que se generen sucesivamente varios elementos "hijos" antes de alcanzar uno que sea estable.

Los principales tipos de radiación que emite el núcleo radiactivo en su proceso de transmutación son los siguientes:

- *Partículas alfa* (α). Son las partículas más pesadas de las procedentes de la desintegración radiactiva, y consisten en un núcleo de helio, formado por dos protones y dos neutrones. Cuando, por ejemplo, un átomo de uranio, con 92 protones y 146 neutrones (isótopo 238), emite una partícula alfa de su núcleo, pierde dos protones y dos neutrones, transformándose, en consecuencia, en un átomo de torio, con 90 protones y 144 neutrones (isótopo 234). En ambos casos el número de masa isotópica es la suma del número de protones y neutrones del núcleo.
- *Partículas beta* (β). La partícula beta está formada por un solo electrón. Cuando un átomo pierde una de estas partículas, su número másico no cambia, pero la carga del núcleo aumenta en una unidad positiva, ya que para emitir un electrón del núcleo se ha de formar previamente por descomposición de un neutrón en un protón y un electrón, quedando por tanto un protón más y un neutrón menos. Así, el cobalto-60 (27 protones y 33 neutrones), al emitir una partícula beta, pasa a níquel-60 (28 protones y 32 neutrones).
- *Radiación gamma* (γ). La radiación gamma no tiene carga ni masa, y puede considerarse compuesta por fotones, al igual que la luz visible y la radiación electromagnética en general. La radiación gamma viaja a la velocidad de la luz. Generalmente, en una transmutación nuclear la radiación gamma secunda a otros tipos de desintegración previa de partículas alfa o beta con el fin de eliminar el exceso de energía resultante. Así, en la transmutación del cobalto-60 al níquel-60, antes citada, por cada emisión beta se producen dos emisiones de radiación gamma en cascada. Estas últimas emisiones no alteran la configuración de partículas del núcleo.

Período de semidesintegración En el caso de que pudiésemos contemplar un





El contador Geiger se ha utilizado ampliamente durante mucho tiempo para la detección de la radiactividad. En la fotografía se representa un contador Geiger junto con el módulo electrónico de medida. La detección y medida de la radiactividad se basa en los cambios que la misma produce en la estructura atómica del medio detector, produciéndose, en definitiva, una ionización con electrones libres que, sometidos a un alto potencial en un electrodo metálico, generan una señal eléctrica que puede conducirse y analizarse. Otros sistemas, llamados de centelleo, se basan en fotocélulas para "ver" los microscópicos centelleos de una determinada longitud de onda, que produce la radiactividad en algunas sustancias fluorescentes. La señal correspondiente de la fotocélula puede tratarse como un impulso eléctrico que igualmente se analiza. Más recientemente, las propiedades de los semiconductores de estado sólido han sido también aprovechadas para el análisis de la radiactividad, con alta resolución. Con el empleo actual de la informática y de la electrónica, la detección y análisis de la radiactividad se ha convertido en una técnica especializada y de gran precisión.

átomo individualizado y aislado de un isótopo radiactivo, no se podría predecir en qué momento preciso iba a desintegrarse. Sin embargo, el comportamiento estadístico de las desintegraciones de los átomos radiactivos sigue unas rigurosas leyes cronológicas que permiten identificar a cada isótopo radiactivo por un parámetro de tiempo muy característico, denominado *período de semidesintegración*. En efecto, para cada radioisótopo se mantiene perfectamente constante el tiempo que transcurre desde que una cantidad cualquiera del mismo se reduce a la mitad (la otra mitad se habrá transmutado por desintegración radiactiva). Este período de tiempo, que puede ser increíblemente pequeño o extremadamente largo, según los casos, es el llamado período de semidesintegración. Al cabo de dos períodos, sólo quedará la cuarta parte de la cantidad inicial; al cabo de tres períodos, la octava parte y así sucesivamente, en un decrecimiento exponencial, teóricamente ilimitado, pero ya insignificante en la práctica con el transcurso de unos cuantos períodos.

Radiactividad natural y artificial Hasta el siglo XX, todos los fenómenos radiactivos eran naturales y debidos bien a los materiales que, como el potasio-40 o como el uranio, existen desde el origen de la formación de la Tierra, hace unos 4.500 millones de años, y que aún subsisten debido a su lenta desintegración, o bien a otros materiales que, como el tritio y el carbono-14, se están formando continuamente por acción de las partículas y radiaciones procedentes del espacio (radiación cósmica). La radiactividad natural varía de unos lugares del planeta a otros en cantidades muy significativas, dependiendo de la naturaleza del terreno. Así, en Estados Unidos, por ejemplo, es aproximadamente el doble en las tierras altas de Colorado que en Nueva York. La intensidad de la radiación exterior, por otra parte, se duplica por cada 1.500 metros de elevación sobre el nivel del mar.

Con el descubrimiento de la radiactividad, en 1896, y otros descubrimientos clave, tales como el de la radiactividad artificial (1934) y la fisión nuclear (1939), comienza el gran desarrollo de las aplicaciones nucleares y radiactivas en muy diversas actividades humanas. Las pruebas nucleares realizadas en la atmósfera hasta hace poco más de una década han aportado un ligero incremento (de alrededor de un 0,5%) a la radiactividad natural del planeta. Por otra parte, con el uso cada vez más amplio y diverso de los isótopos radiactivos producidos artificialmente, se ha incrementado también —en un 1% aproximadamente— la dosis media de irradiación a que está sometido el hombre actual, siendo ínfima la contribución al respecto del funcionamiento de las centrales nucleares de gran potencia.

En la actualidad se conocen más de 2.000 isótopos, de los cuales más de 1.700 son radiactivos. De ellos, unos 350 son isótopos naturales, de los que 70 son radiactivos y los restantes 280, estables.

Los efectos de las radiaciones ionizantes en el organismo Incluyendo en la denominación de radiaciones ionizantes no sólo las emisiones de radiactividad, sino también la radiación cósmica, los haces de partículas nucleares y los rayos X, dada la propiedad común a todas ellas de provocar ionización en la materia sobre la que actúan, sus efectos en el organismo humano dependen, fundamentalmente, de la amplitud de la zona afectada, de las características energéticas de la radiación, de la cantidad de dosis recibida y del tiempo de exposición, consistiendo aquéllos, básicamente, en la alteración o destrucción de células.

Las radiaciones pueden actuar desde el exterior, como en el caso de los rayos X, radiación cósmica o fuentes radiactivas encapsuladas, o desde el interior, si la propia sustancia radiactiva se ha incorporado al organismo, como en el caso del potasio-40 natural, que se ingiere con los ali-



Dr. Ratto, Milán



Dr. Ratto, Milán



Inst. Geográfico de Agostini



A. Ferri

Las fotografías sobre y junto a estas líneas muestran algunos ejemplares de minerales radiactivos. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: cuprosklodowskita; sklodowskita en cristales aguiformes amarillos; curita sobre pechblenda; autunita en cristales tubuliformes, y, finalmente, gumita (color naranja), producto de la oxidación de la uranita.

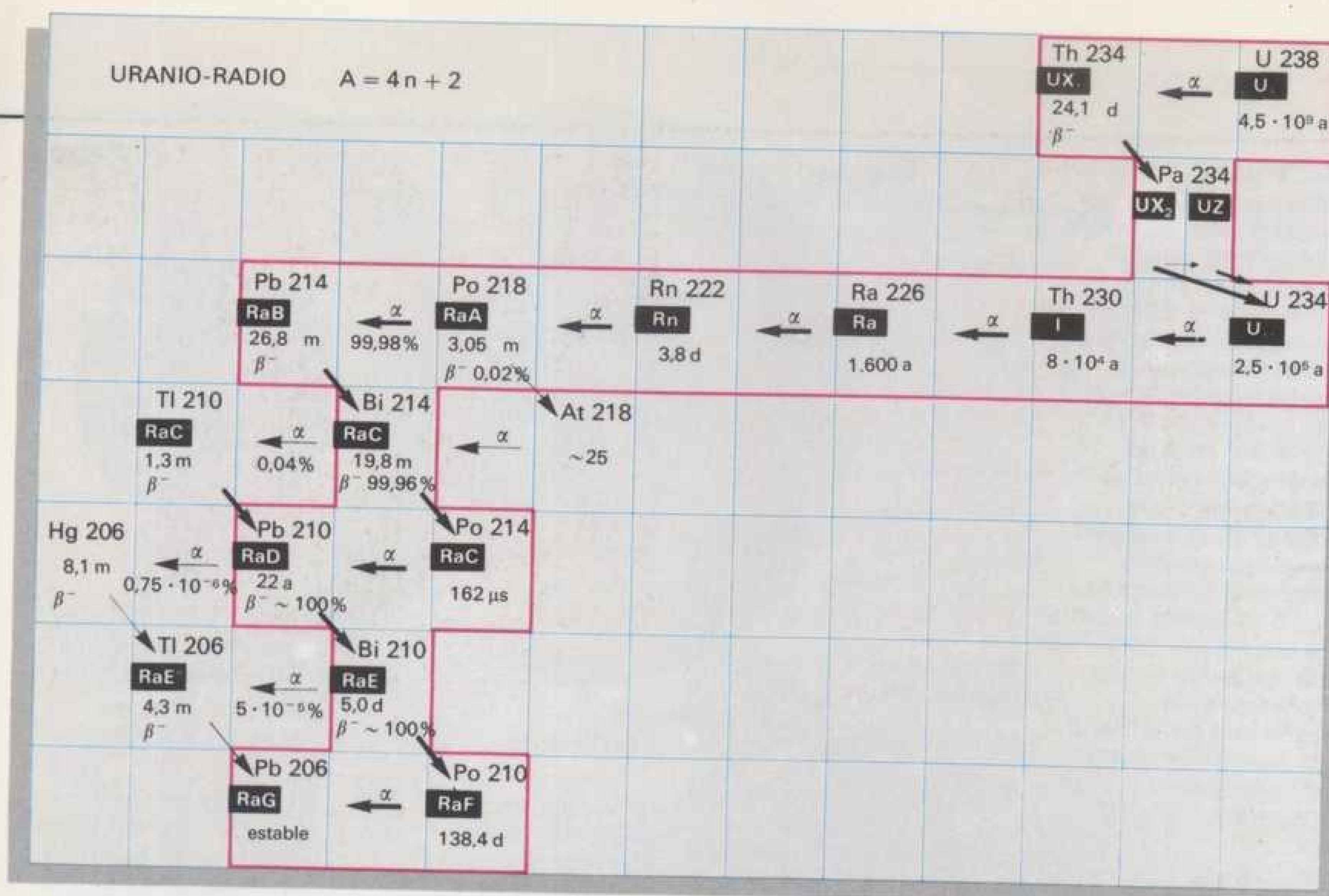


C. M. Gramaccioli, Milán

PRINCIPALES RADIONUCLEIDOS NATURALES

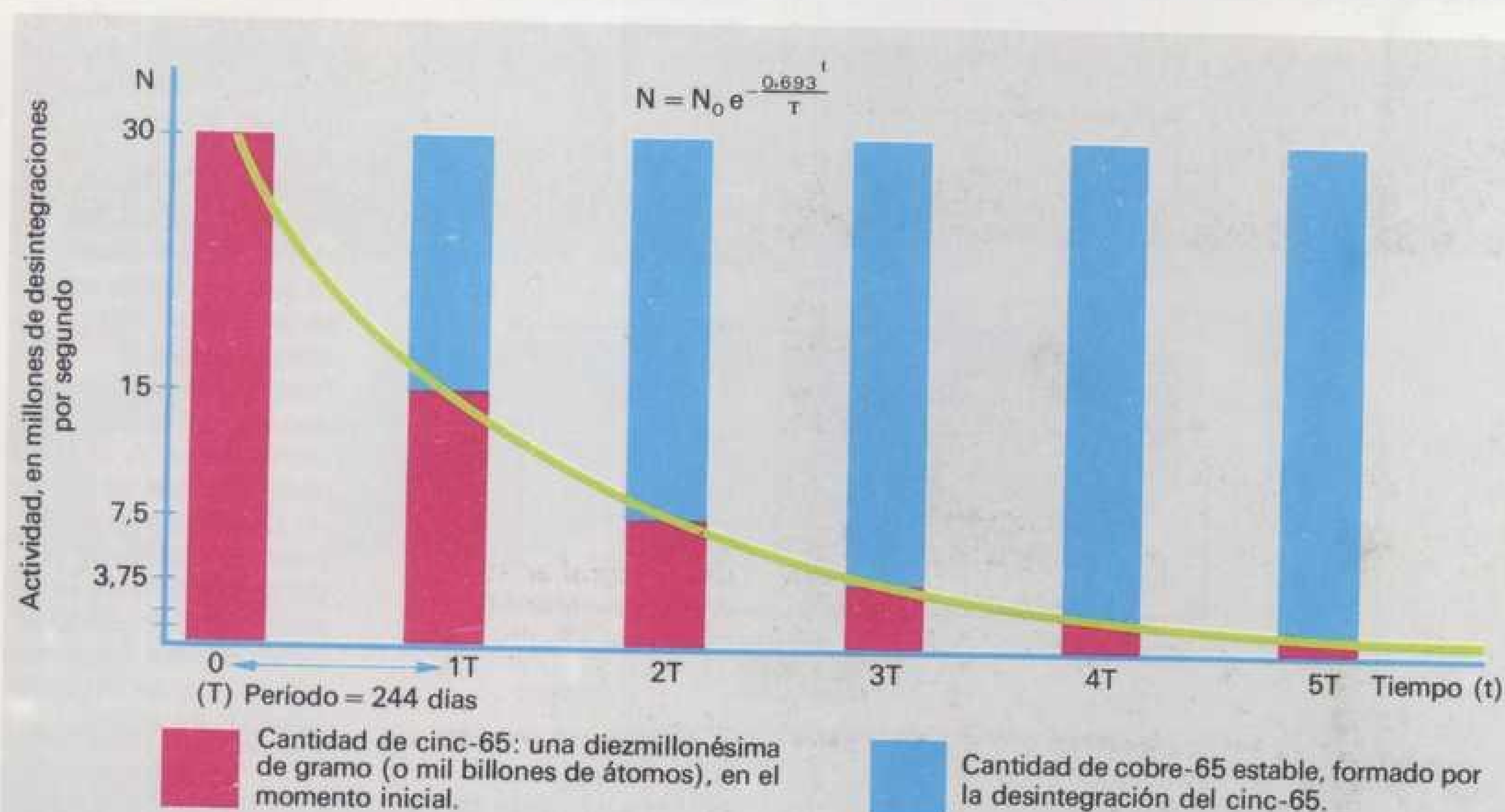
	Nucleido	Período de semidesintegración	Tipo de emisión radiactiva
Primordiales, que se transforman en un nucleido estable	Potasio-40	1,26 × 10^9 años	beta (β), gamma (γ)
	Rubidio-87	4,8 × 10^{10} años	β
Cosmogénicos, que se producen por la radiación cósmica	Hidrógeno-3 (Tritio)	12,3 años	β
	Berilio-7	53 días	γ
	Carbono-14	5.730 años	β
Integrantes de las series radiactivas naturales, en equilibrio	Torio-232	138,3 días	alfa (α)
	Uranio-238	4,5 × 10^9 años	α
	Radio-226	1.620 años	, γ
	Radio-228	6,7 años	β
	Radón-220	54,5 segundos	α
	Radón-222	3,82 días	α
	Polonio-210	138,3 días	α

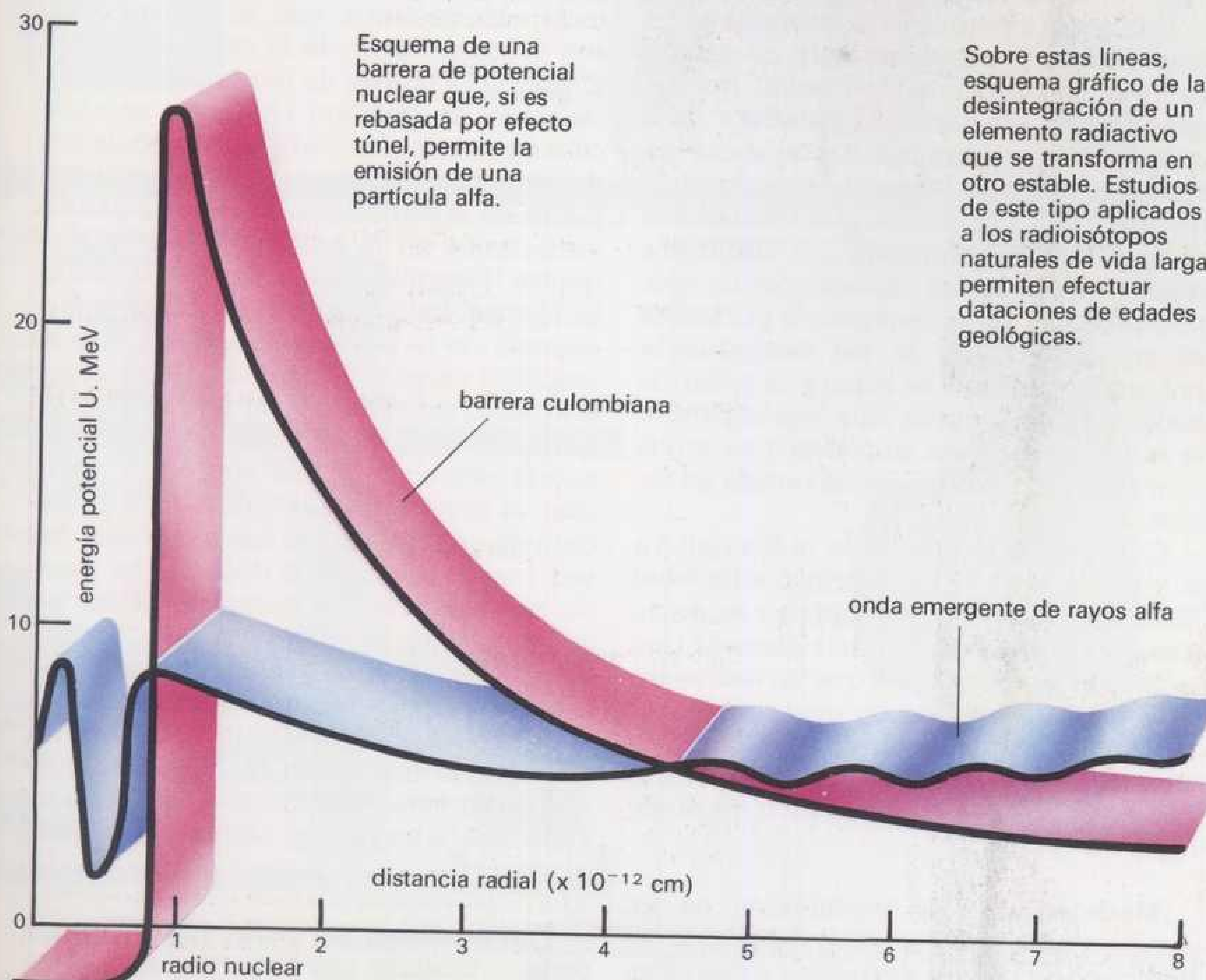
NOTA: en el cuadro figuran los radionucleidos que más contribuyen a la irradiación natural, externa o interna, por incorporación, de entre los radionucleidos naturales, clasificados por su distinto origen y separando los correspondientes a las series naturales.



En el cuadro superior se representa una de las series radiactivas naturales, la del uranio, denominada así por ser el uranio-238 el primer elemento o cabeza de la misma. Entre los sucesivos elementos que se van formando por desintegración de aquél, igualmente radiactivos hasta llegar al plomo-206 estable, se encuentran el polonio y el radio, identificados por primera vez por los esposos Curie. A partir del radón, que es gaseoso, pueden encontrarse también en la atmósfera. En el diagrama, las flechas indican la sucesión de desintegraciones y el tipo de emisión radiactiva de cada elemento de la serie. El número másico de todos ellos, A, puede expresarse como múltiplo entero de cuatro más dos. Las otras dos series radiactivas existentes en la Naturaleza son la del torio y la del actinio, de leyes respectivas A = 4n y A = 4n + 3. En cada casilla de un elemento está indicado, finalmente, su período de semidesintegración.

Símbolos	Bismuto = Bi	Radio = Ra
Mercurio = Hg	Polonio = Po	Torio = Th
Talio = Tl	Astato = At	Protactinio = Pa
Plomo = Pb	Radón = Rn	Uranio = U





Esquema de una barrera de potencial nuclear que, si es rebasada por efecto túnel, permite la emisión de una partícula alfa.

Sobre estas líneas, esquema gráfico de la desintegración de un elemento radiactivo que se transforma en otro estable. Estudios de este tipo aplicados a los radioisótopos naturales de vida larga permiten efectuar dataciones de edades geológicas.

mentos, o a partir de la ingestión de isótopos para diagnosis médica. En este último caso su acción perdura hasta que la sustancia se haya desintegrado totalmente o se haya eliminado biológicamente, circunstancia principal que se tiene en cuenta en la elección de los isótopos a utilizar para las radiodiagnosis.

Aunque se conoce, ya que ha sido muy estudiada, la capacidad del organismo para regenerar las lesiones celulares, también se admite hoy en día una cierta posibilidad, para bajas dosis de irradiación, de aparición de cáncer a largo plazo (la irradiación natural produce, de hecho, una pequeña fracción del número de cánceres registrados). Así, se ha comprobado cómo para dosis muy altas, de corta duración y que afectan a todo el organismo, a partir de 500 rad (el *rad* equivale a una energía absorbida de 100 ergios por gramo de tejido) pueden aparecer efectos agudos (depresión hematológica, trastornos digestivos y nerviosos) y conducir a un desenlace grave, tanto más probable cuanto mayor sea la dosis de radiación recibida (síndrome de irradiación).

En el caso concreto de irradiación de gónadas, los efectos agudos por dosis elevadas pueden conducir a esterilidad, y, como efectos tardíos, ha de considerarse la posibilidad de que aparezcan mutaciones genéticas.

Dados la gran utilidad y el beneficio que se derivan de las aplicaciones de las radiaciones, sobre todo con fines terapéuticos, se han dictado normas internacionales de protección y límites a respetar para evitar los efectos agudos de las mismas y reducir al mínimo la probabilidad de aparición de efectos cancerígenos y genéticos.

Véase **Contador de centelleo; Contador Geiger; Elementos químicos; Isótopo; Medicina laboral; Radiación; Radioisótopos; Reacción nuclear; Residuos radiactivos**

Radio

Se considera que el padre de la radio fue el inventor italiano Guillermo Marconi. Por otra parte, fue el científico inglés James Maxwell quien, en 1865, había elaborado la teoría de la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío y el físico alemán Heinrich Rudolf Hertz quien lo probó experimentalmente en 1888. La fecha oficial del nacimiento de la radio es 1898, año en el que Marconi realizó su primera transmisión desde la isla de Wight. Utilizada en principio para transmisiones tierra-mar, las aplicaciones de la radio se extendieron rápidamente a las transmisiones transoceánicas, lo que se pudo conseguir después de probar, en 1923, que las ondas de radio de alta frecuencia se reflejaban en las altas capas de la atmósfera, o ionosfera.

Aunque desde la época de los pioneros se han desarrollado muchas y nuevas técnicas de transmisión y radiodifusión —por ejemplo, la telefonía por microondas, la radiotelemetría y los telemandos por radio— los fundamentos básicos de la radio siguen siendo prácticamente los mismos. Por definición, la *radio* es un medio de comunicación que utiliza fenómenos electromagnéticos para transmitir una información de un punto a otro.

El funcionamiento de la radio Las ondas de radio constituyen un determinado tipo de radiación electromagnética. Como ya sabemos, éstas pueden considerarse como fluctuaciones periódicas en el espacio de campos magnéticos y eléctricos perpendiculares entre sí y con respecto a su dirección de propagación; de acuerdo con este punto de vista, toda radiación electromagnética puede considerarse como un movimiento ondulatorio transversal, caracterizado por una determinada longitud de onda (distancia entre dos crestas o senos consecutivos) o por una determinada frecuencia (número de senos o crestas que llegan al observador o receptor por unidad de tiempo). Las ondas de radio ocupan una amplia región dentro del denominado espectro electromagnético de la luz; esta región se denomina "radio" o "frecuencia" y se sitúa en el extremo del espectro correspondiente a las radiaciones de baja frecuencia o alta longitud de onda.

Las frecuencias de radio se miden en múltiplos de hertz (Hz), kilohertz (KHz), megahertz (MHz), y gigahertz (GHz). Un kilohertz es igual a mil hertz (10^3 Hz), un megahertz igual a un millón de hertz (10^6 Hz) y un gigahertz igual a mil millones de hertz (10^9 Hz). En este margen de frecuencias, las ondas de radio se subdividen en grupos, o bandas, como las de frecuencia muy baja (VLF, de 10 a 30 KHz), baja frecuencia (LF, de 30 a 300 KHz), frecuencia media (MF, de 300 a 3.000 KHz), alta frecuencia (HF, de 3 MHz a 30 MHz) y frecuencia muy alta (VHF, de 30 a 300 MHz).

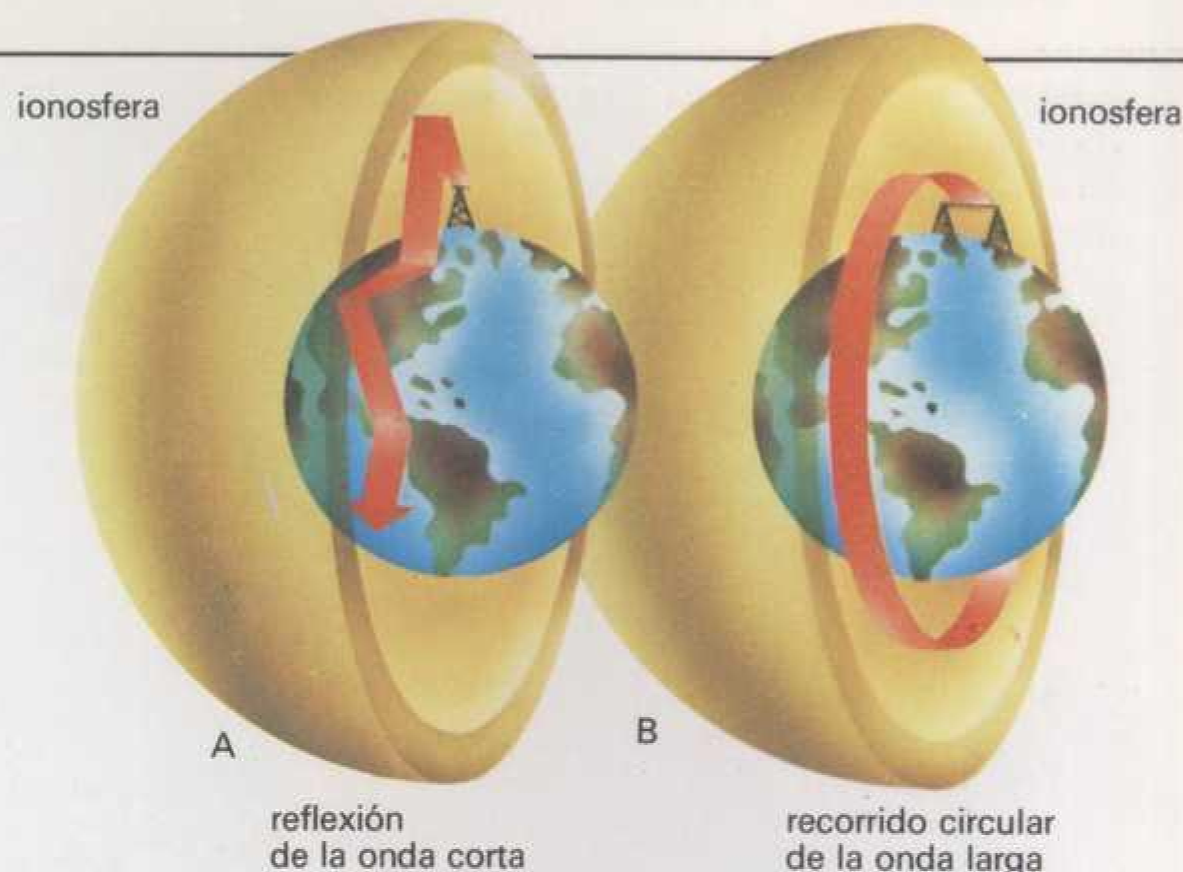
Para comprender cómo funciona un aparato de radio es necesario seguir el recorrido de una señal para llegar desde un punto a otro del espacio. El viaje empieza cuando un sonido entra en un micrófono, donde se transforma en impulsos eléctricos.

Esta señal eléctrica es aumentada en un amplificador y, posteriormente, se combina (modulación) con una señal de frecuencia más alta llamada "portadora". Esta onda, que transporta la señal de audio inicial, se manda a un aparato transmisor y de aquí pasa a la antena, que transmite la onda portadora modulada a la atmósfera, donde ya puede ser captada por un aparato receptor. En el receptor, la portadora se amplifica antes de ser demodulada, proceso en el que se separa la señal de audio de la portadora. Una vez separada, la señal de audio se amplifica y se envía a un altavoz, donde es reconvertida en sonido.

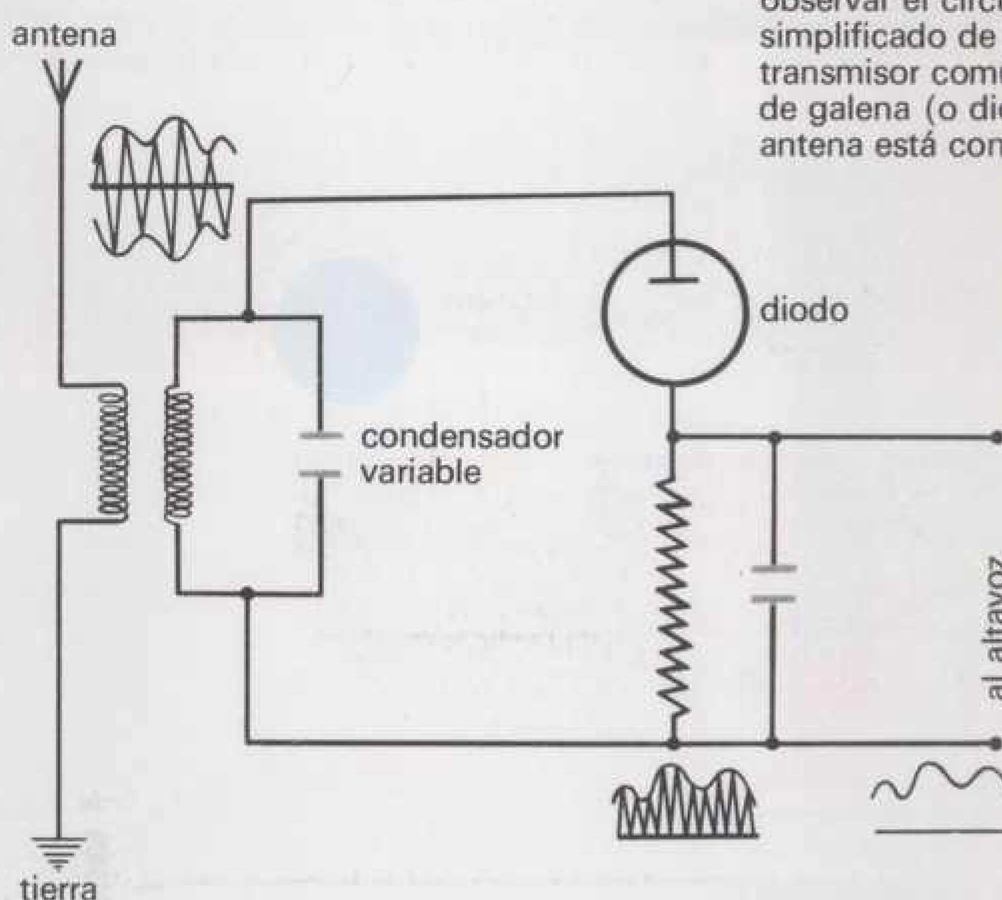
Como todas las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz (aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo), es decir, a una velocidad mucho más elevada que la del sonido, es posible que un radioyente, a 5.000 kilómetros de distancia, escuche una transmisión en directo una fracción de segundo antes que el propio público que asiste a la transmisión en el estudio de radio.

Modulación La modulación es un proceso en el que la señal de sonido se superpone a la onda portadora, o con otras palabras, es un proceso por el que la señal se "monta a caballo" de la portadora. Modular significa modificar una determinada característica, que en nuestro caso son características de la señal portadora. Existen dos formas de modulación: la *modulación de amplitud* (AM) y la *modulación de frecuencia* (FM). En la modulación de amplitud lo que se modifica es la amplitud de la portadora de acuerdo con las variaciones de la señal de audio que se quiere transmitir. En cambio, en la modulación de frecuencia se modifica la frecuencia de la portadora mientras que su amplitud permanece inalterada. Dado que el aparato receptor se puede sintonizar en cualquier onda portadora de la banda, se puede seleccionar una emisora y escuchar el programa que transmite la portadora de esa emisora en ese momento. Una vez que la transmisión deseada ha pasado por los circuitos sintonizados del receptor, ya no es necesaria la portadora, que se separa en el proceso de demodulación, en el que la señal "descabalga" de la portadora como un jinete de su caballo. A partir de ese punto, la señal de audio —el programa radiofónico— continúa su viaje sola, a través del amplificador hasta el altavoz.

Transmisiones por radio: AM, FM, onda corta Cuando una transmisión se efec-

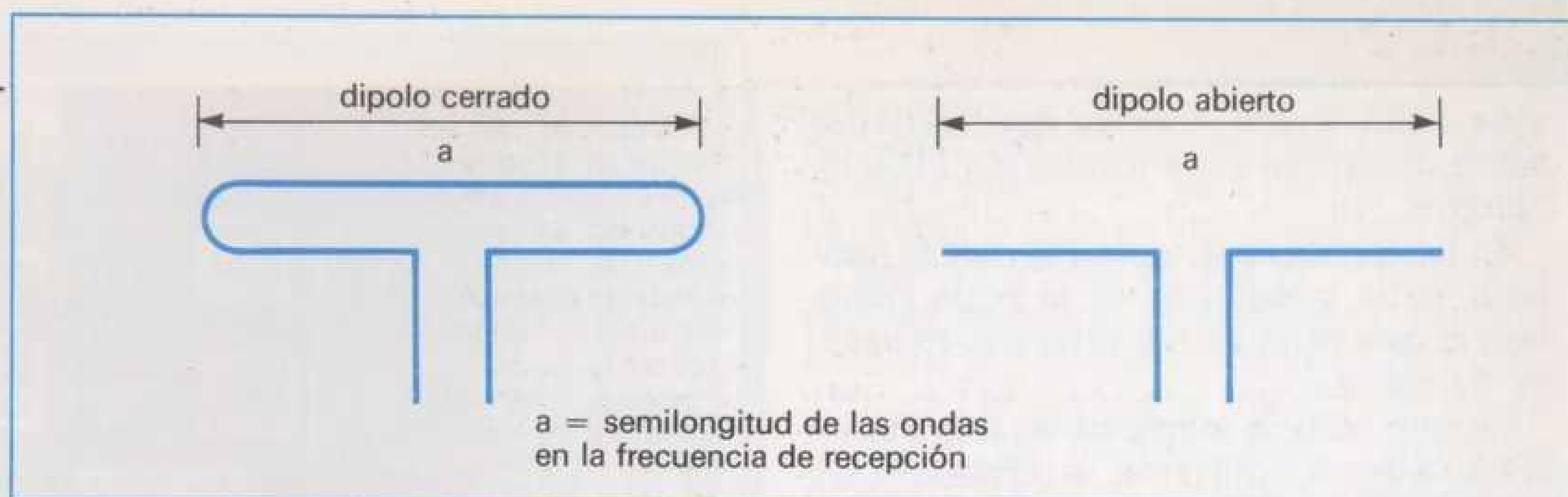


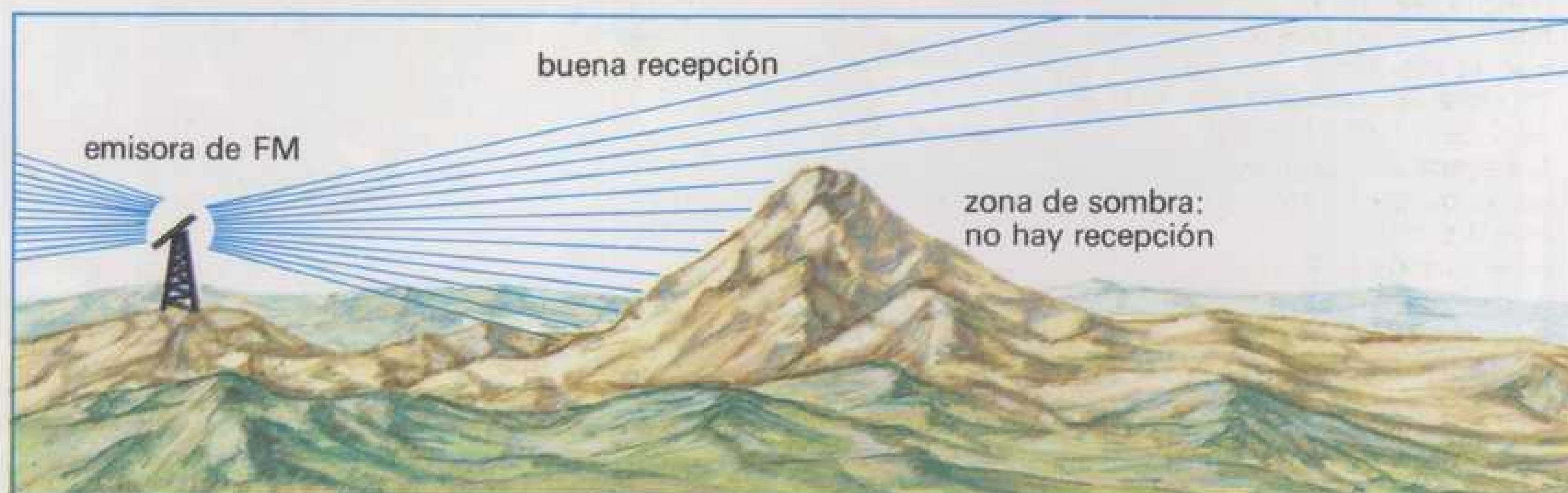
Las transmisiones por radio se efectúan por propagación de ondas electromagnéticas desde la estación emisora a la estación receptora. Las ondas electromagnéticas se propagan siempre en línea recta. A la derecha: en A se puede ver cómo se reflejan las ondas cortas en la ionosfera y en la superficie terrestre. En cambio, en B se puede observar la trayectoria curvilínea de las ondas largas, que siguen la curvatura de la Tierra sin que se produzca reflexión en la ionosfera.



En el esquema de la izquierda podemos observar el circuito simplificado de un transmisor común: el de galena (o diodo). La antena está conectada al circuito primario de un transformador, cuyo sistema secundario forma parte de un circuito oscilante con condensador variable, que permite sintonizar la frecuencia deseada. En este circuito se inducen las fuerzas electromotrices debidas a la señal de radio que capta la antena. Estas sólo alcanzan un valor elevado para la frecuencia de resonancia del circuito sintonizado. A la salida del oscilador se coloca un diodo que deja pasar únicamente la parte positiva de la señal, lo que unido al condensador hace que, a la salida, se obtenga la señal de audio.

túa en AM (modulación de amplitud), el tamaño (la amplitud) de la onda portadora cambia con las variaciones de la señal de audio, pero su frecuencia permanece constante. Esta invariación de la frecuencia de la portadora, cuya estabilidad es esencial tanto para evitar fenómenos de distorsión o desvanecimiento (*fading*) de la señal cuando es captada por el recep-





El modelo de antena más simple es el dipolo en media onda, utilizado en FM. Sobre estas líneas, dos tipos de este modelo, llamados dipolo cerrado y dipolo abierto, que no presentan grandes diferencias entre sí. El dipolo debe colocarse lo más alto posible, porque, como se ve en el dibujo de la izquierda, las ondas muy cortas, que se propagan en línea recta, no pueden superar los obstáculos. Para una mejor recepción, el dipolo debe estar orientado de forma que su eje principal sea perpendicular a la dirección en la que se encuentra la emisora de FM.

oscilador de cristal
amplificador de radiofrecuencia
amplificador de la señal modulada
amplificador de potencia y adaptador de antena
amplificador de la señal modulada
aparato de antena
1
micrófono
preamplificador de micrófono
amplificador de baja frecuencia
amplificador de modulación

enchufe de red
transformador de alimentación
condensador electrolítico
bobina de inducción
diodo rectificador
2
ETAPA DE AMPLIFICACION DE ALTA FRECUENCIA
antena magnética
condensador variable
triodo amplificador
ETAPA DE DEMODULACION
condensador fijo
resistencia
diodo demodulador
ETAPA DE AMPLIFICACION DE BAJA FRECUENCIA
condensador fijo
resistencia
tetrodo de amplificación
transformador de salida
altavoz

tor, como para evitar interferencias con otras transmisiones, se obtiene mediante un oscilador de cristal.

Similar en su concepción a los osciladores de cuarzo, que aseguran la regularidad de los relojes de cuarzo, el oscilador de cristal de un transmisor de AM produce una tensión de salida alterna sinusoidal. Generada en la frecuencia deseada, esta onda portadora se amplifica en uno o más amplificadores de frecuencia y, después, entra en un amplificador de modulación. Al mismo tiempo, la señal de audio pasa de un amplificador de audiofrecuencia (AF) al amplificador de modulación, donde la fuerza instantánea de la portadora se varía de acuerdo con la amplitud instantánea de la señal de audio. Debido a este proceso, donde se combinan la señal de audio con la portadora, la frecuencia de la señal modulada resultante presenta una doble banda lateral, cuyo ancho suele ser de 5 kilohertz (en total, 10 KHz por señal).

Las transmisiones de AM se pueden propagar mediante dos tipos de ondas: por ondas superficiales, que se propagan horizontalmente sobre la superficie de la Tierra, y por ondas espaciales, que se propagan hacia arriba, con un cierto ángulo, hasta alcanzar la ionosfera, donde tras reflejarse regresa a la Tierra. A veces, como resultado de numerosas flexiones por la ionosfera y la superficie terrestre, las ondas cortas pueden cubrir largos trayectos. Algunas estaciones de radio, dotadas con equipos muy potentes de trasmisión en

En el esquema a la izquierda de estas líneas se muestra un aparato transmisor en modulación de amplitud (figura 1). La onda portadora, estabilizada por un oscilador de cristal y amplificada en cascada, se superpone a la señal de baja frecuencia que se pretende transmitir; una vez modulada, la señal es enviada a un amplificador. Esta onda llega hasta la antena y desde allí se propaga. En la figura 2, esquema de un receptor de AM. Para alimentar las etapas de amplificación, la corriente alterna de la red se transforma en corriente continua. El demodulador separa la señal de audio de la portadora y la envía al amplificador de baja frecuencia para que pueda sonar a través del altavoz.

onda corta y AM, pueden ser recibidas desde distancias superiores a los 1.500 kilómetros.

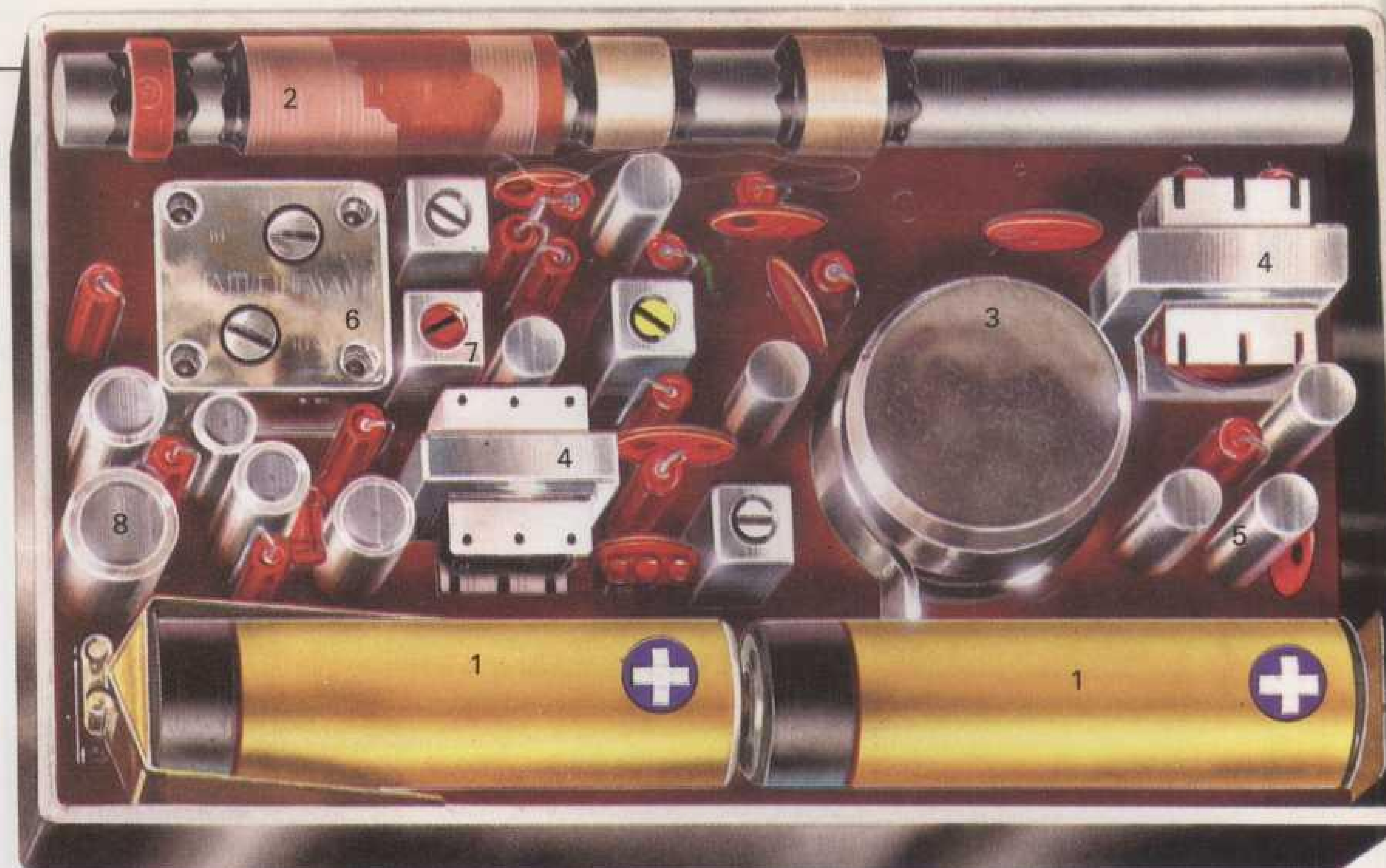
En las transmisiones de FM, por el contrario, es la frecuencia de la onda portadora la que varía según la fuerza de la señal de audio.

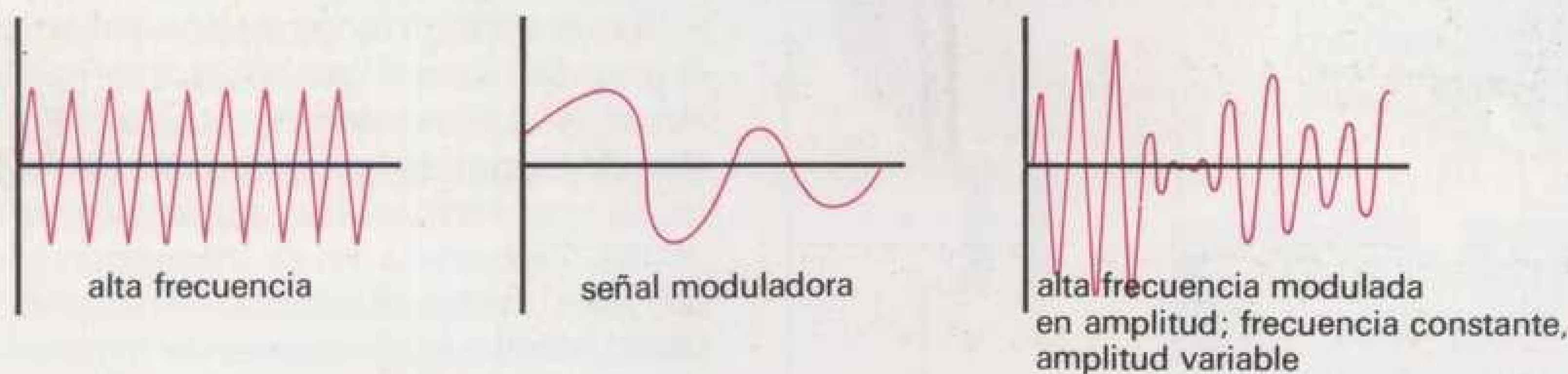
En este caso, la amplitud de la portadora permanece constante, a diferencia de la modulación de amplitud, y la frecuencia varía por encima y por debajo de un determinado valor central. Las emisiones radiofónicas en FM tienen un ancho de banda de 200 kilohertz y sus ondas de transmisión (con frecuencias comprendidas entre 88 y 108 MHz) son más cortas que las de AM (con frecuencias entre 540 y 1.600 KHz), razón por la cual no consiguen alcanzar las mismas distancias.

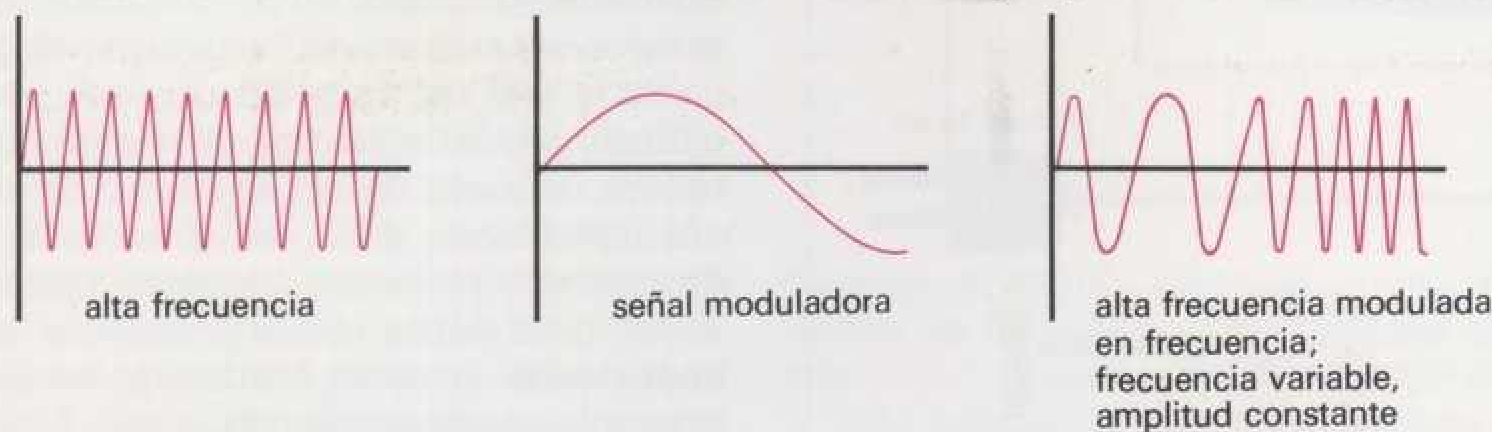
Las emisoras de FM, por lo general, suelen tener un alcance máximo de 105 kilómetros. Debido a que lo que se modula es la frecuencia, y no la amplitud, el ruido de fondo se reduce notablemente y la calidad de la emisión aumenta.

Poco antes de la I Guerra Mundial se descubrió que las condiciones para la propagación de ondas en la ionosfera eran más favorables para las ondas cortas; en efecto, mientras que las ondas largas no se internaban profundamente en la ionosfera, las ondas cortas alcanzaban las capas ionizadas más altas y, al ser reflejadas, podían llegar a puntos más distantes. Debido a esto, comenzaron a generalizarse las transmisiones de onda corta, con ondas de frecuencias entre 1,6 y 30 MHz, capaces de cubrir distancias de varios miles de kilómetros.

Durante la I Guerra Mundial las comunicaciones a larga distancia se realizaron en onda corta. Debido a las interferencias de *jamming* (que se producen al emitir muchas señales en la misma banda de frecuencias), a las posibilidades de interceptación (captación por un radioescucha clandestino de una transmisión o mensaje) y a las interferencias (que se producen cuando otras ondas de radio se mezclan con la señal deseada), los mensajes a tra-







La ilustración superior reproduce el interior de una radio de transistores portátil de AM: 1) pilas de alimentación; 2) antena fija de ferrita; 3) parte posterior del altavoz; 4) transformador; 5) circuito de alimentación; 6) oscilador; 7) amplificador de radiofrecuencia; 8) amplificador de audiofrecuencia. La miniaturización de los componentes ha permitido la difusión, a nivel mundial, de aparatos de radio transistorizados del tipo representado aquí abajo: tienen una antena incorporada y pueden recibir tanto en AM como en FM.

A la izquierda, representación de la modulación de amplitud (AM) y de frecuencia (FM). La modulación de frecuencia necesita un ancho de banda mayor. En este tipo de modulación varía la frecuencia de la portadora en función de la señal de audio. En la modulación de amplitud la señal de audio modifica la amplitud de la portadora. Como resultado, la amplitud de la señal radiada varía con una frecuencia que en cada momento corresponde al tono del sonido producido en el estudio, y sus valores medios varían según su intensidad. →



vés del éter solían emitirse codificados y utilizando antenas direccionales. Las características de las bandas de onda corta se han hecho muy populares entre los radioaficionados y muy útiles en zonas con servicios telefónicos deficientes.

Radiorreceptores En la actualidad existen dos tipos de receptores que se utilizan en el campo de las comunicaciones por radio. El sistema de *radiofrecuencia sintonizada* (TRF) se utiliza para señales en AM de baja o muy baja frecuencia. En los receptores TRF cada una de las etapas de amplificación de radiofrecuencia se sintoniza en la frecuencia de la portadora de la emisora deseada. Sin embargo, el sistema más utilizado, tanto en receptores de AM como de FM, es el receptor superheterodino. Mediante este sistema, la frecuencia de la portadora que se quiere demodular se cambia para poder amplificarla en el receptor según una frecuencia fija, igual para todas las emisoras, en vez de tener que sintonizar cada una de las etapas amplificadoras a la frecuencia portadora de la emisora que se quiera escuchar. Este cambio de frecuencias se produce cuando la frecuencia de la señal que se recibe se mezcla con la señal procedente de un oscilador sintonizable en un circuito llamado *mezclador*.

El término *frecuencia intermedia* (IF) hace referencia a la modificación que experimenta la frecuencia de la señal portadora después de atravesar el mezclador. Una vez que la señal está en la frecuencia intermedia, se amplifica con un amplificador de radiofrecuencia y después se demodula. La señal de audio, una vez separada de la portadora, se amplifica con un amplificador de audio y se envía a un altavoz. Por ejemplo, si la señal portadora de la emisora es de 1.040 KHz, y el oscilador está sintonizado en 585 KHz, la frecuencia intermedia será de 455 KHz, que es la más común en los receptores de AM.

Debido a que en FM la portadora se modula variando su frecuencia, para demodular la portadora, el sistema de recepción en FM tiene que transformar las variaciones de frecuencia en variaciones proporcionales de amplitud (señal de audio). Esta función la realiza el *discriminador*, donde se produce la demodulación propiamente dicha. En un receptor de FM se utilizan, además, sucesivas etapas para obtener un sonido más limpio y claro, entre ellas, varias de amplificación de frecuencia intermedia y una etapa limitadora, que recorta cualquier variación de amplitud, que se pueda transformar en ruido extraño, de la señal de frecuencia intermedia, antes de que ésta entre en el discriminador.

Véase **Radiocomunicaciones**

→
La antena receptora capta la emisión deseada junto a otras señales de otras estaciones, y, en consecuencia, el receptor ha de contar con un circuito de selección, o sintonizador, que proporcione la señal de salida correspondiente a cada emisora. La antena receptora trabaja de forma inversa a la emisora. El paso de las ondas de radio induce en la antena tensiones e intensidades que están en función de las magnitudes instantáneas de la radiación. Antes de separar la señal de la portadora suele ser necesario amplificar las señales procedentes de la antena. A continuación, se demodula la señal y se amplifica la señal de audio resultante, utilizando para ello un amplificador de baja frecuencia. La selección de la frecuencia (sincronización) se realiza en la etapa de preamplificación, antes de que tenga lugar la demodulación. Las dos fotografías de esta página corresponden a dos sintonizadores modernos de avanzada tecnología y diseño. Entre las características de vanguardia que estos sistemas presentan, está la búsqueda automática y sintonización de varias emisoras previamente seleccionadas (hasta de ocho en AM y otras tantas en FM).

Indice
Volumen XI

